Anat. 474 9d.

Wundt

Beiträge

zur

Theorie der Sinneswahrnehmung.

von

Wilhelm Wundt,

[illegible] Heidelberg.

[illegible]

<3660889660013

<3660889660013

Bayer. Staatsbibliothek

[illegible]handlung.

[illegible]

Beiträge

zur

Theorie der Sinneswahrnehmung.

Von

Dr. **Wilhelm Wundt,**
Privatdocenten der Physiologie an der Universität zu Heidelberg.

> Nihil est in intellectu quod non fuerit in sensu — nisi intellectus ipse.
>
> *Leibnitz.*

Leipzig und Heidelberg.
C. F. Winter'sche Verlagshandlung.
1862.

130 - H.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Vorrede.

Die folgenden Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung sind in der Zeitschrift für rationelle Medicin von Henle und Pfeufer (Jahrgang 1858 bis 1862) bereits einzeln veröffentlicht worden. In Rücksicht auf diese allmälige Veröffentlichung in einer Zeitschrift im Lauf mehrerer Jahre wird man es entschuldigen, dass der Gegenstand nicht in der Weise methodisch behandelt ist, wie man es von einer zusammenhängenden Monographie erwarten darf. Doch hoffe ich, dass der aufmerksame Leser die methodische Durcharbeitung, welche der Form fehlen muss, nicht an dem Inhalt vermissen werde.

Es ist unvermeidlich, dass bei einer Arbeit wie der vorliegenden allmälig die Gesichtspunkte sich erweitern, die Schlussfolgerungen und Beweise sich vervollständigen. Eine letzte Ueberarbeitung vermag dann leicht, das Ganze in jene abgerundete Form zu bringen, die für die Geltendmachung des Inhalts so vortheilhaft ist. Die hier durch die Umstände gebotene Darstellungsweise hat vielleicht den andern Vortheil, dass sie den Leser genauer mit dem Weg bekannt macht, den der Verfasser bei der Untersuchung einschlug.

Man wird übrigens leicht erkennen, dass die leitenden Ideen in dieser Arbeit im Wesentlichen dieselben geblieben sind. Ich gestehe sogar, dass die Theorie der Wahrneh-

mungsprozesse, welche in der Schlussabhandlung als Resultat aus dem Vorangegangenen abgeleitet wird, schon beim Beginn meiner Untersuchungen in ihren allgemeinen Zügen mir vorschwebte. Wem bekannt ist, wie sich überhaupt naturwissenschaftliche Theorieen entwickeln, dem wird dies nicht auffallen. Jede Theorie ist einmal eine unsichere Hypothese gewesen. Die naturwissenschaftliche Methodik verlangt nicht die Vermeidung vorgefasster Ansichten, sondern ihre vorurtheilslose Prüfung, die umsichtige Betrachtnahme der für und wider sprechenden Instanzen. Dieser Anforderung hoffe ich nachgekommen zu sein, und sollte die Begründung der Theorie noch einige Lücken zeigen, so möge man bedenken, dass die konsequente Anwendung der experimentellen Methode im psychologischen Gebiete noch neu und desshalb schwierig ist.

Aus den geschichtlichen Uebersichten, die ich den Einzeluntersuchungen meistens vorausschickte, wird man sehen, dass manchfache Anfänge zu der hier entwickelten Theorie in der Literatur vorhanden sind. Aber die mangelhafte Methodik, die in der Psychologie herrschend war, ist die Ursache gewesen, dass die Psychologen hier wie fast überall nicht über Hypothesen hinausgekommen sind, die sie wenig oder gar nicht zu begründen vermochten. Den Physiologen, deren Untersuchungen in dies Gebiet hereinreichten, war eine bessere Methodik zwar geläufig, aber meistens hielten sie dieselbe für unanwendbar auf die eigentlich psychologischen Probleme, und diese Meinung entsprang gewöhnlich daraus, dass sie sich mit der Natur der psychischen Prozesse zu wenig vertraut gemacht hatten. Ich habe versucht die beiden getrennten Wege zu vereinen: ich nahm das Problem der Wahrnehmung als ein psycho-

logisches, ich suchte bei der Zergliederung der Wahrnehmungsvorgänge die elementaren psychischen Prozesse auf, aus denen sie hervorgehen, aber ich suchte sie nicht mit Hülfe metaphysischer Spekulationen sondern mit der experimentellen Methode des Physiologen.

Es ist vielfach bezweifelt worden, ob das Experiment im Stande sei sich in der Psychologie eine Bedeutung zu erringen. Die Erfolge, welche die experimentelle Methode schon jetzt aufweisen kann, dürften zwar zur Beseitigung dieser Zweifel genügen. Aber man ist im Allgemeinen geneigt, dem Experiment nur insoweit einen Einfluss einzuräumen, als die Psychologie an das physiologische Gebiet angrenzt. Diese Ansicht halte ich für ein Vorurtheil, das dem Fortschritt als eine gefährliche Hemmung entgegensteht. Ich habe mir desshalb erlaubt in der Einleitung, die ich der besondern Ausgabe dieser Beiträge vorangestellt habe, mich über die allgemeine Anwendbarkeit der naturwissenschaftlichen Methodik in der Psychologie ausführlicher auszusprechen.

Bei der Ausarbeitung dieser Untersuchungen habe ich nicht bloss den Physiologen von Fach, sondern auch den Arzt und namentlich den Psychologen im Auge gehabt. Ich bestrebte mich desshalb die Darstellung innerhalb der Grenzen zu halten, in denen sie diesem weiteren wissenschaftlichen Leserkreise verständlich bleiben kann. Ebenso glaubte ich mich auf einige Untersuchungen, die von dem Hauptgegenstand etwas abführen, nur insoweit einlassen zu dürfen, als es für das Verständniss dieses Hauptgegenstandes selber erforderlich schien. Aus diesem Grunde habe ich die Lehre von den Augenbewegungen, auf die ich im Lauf der Untersuchungen über das Sehen geführt

wurde, nur in ihren wesentlichsten Resultaten gegeben; die Theorie der Augenbewegungen, ihre ausführliche experimentelle und mathematische Begründung habe ich von diesem Werke ausgeschlossen und einer besondern Veröffentlichung vorbehalten. *)

Ich schliesse mit dem Wunsche, dass meine Arbeit dazu beitragen möge, das Interesse an einer Wissenschaft zu fördern, die einer vielseitigen Berücksichtigung ebenso werth wie bedürftig ist, auf dass man von der experimentellen Psychologie bald nicht mehr sagen könne was ich oft gehört habe: sie sei nichts als ein Name.

Heidelberg, im Januar 1862.

*) In von Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Bd. VIII., Abth. 2. (Enthaltend die Statik des Auges und die Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems, die Dynamik des Auges wird demnächst nachfolgen.)

Inhalt.

Seite

Einleitung: über die Methoden in der Psychologie XI

Erste Abhandlung: über den Gefühlssinn, mit besonderer Rücksicht auf dessen räumliche Wahrnehmungen 1

1. Die Physiologie des Tastsinns in geschichtlicher Uebersicht . 1
2. Die Haut als messendes Sinneswerkzeug 26
3. Die Gefühlslähmung und ihr Einfluss auf die räumliche Wahrnehmung . 43
4. Zur Theorie des Gefühlssinnes 48

Zweite Abhandlung: Zur Geschichte der Theorie des Sehens 66

1. Plato und Aristoteles 66
2. Die Naturforscher des Mittelalters 74
3. Die idealistische Philosophie von Cartesius bis Berkeley und der Sensualismus des Locke und seiner Nachfolger 81
4. Kant und die neuere Physiologie 91
5. Kant's philosophische Nachfolger 97

Dritte Abhandlung: über das Sehen mit einem Auge 105

1. Ueber den Einfluss der Accodation auf die räumliche Tiefenwahrnehmung 105
2. Ueber die Accodationsbewegungen und deren Abhängigkeit vom Willen . 119
3. Ueber die Bewegungen des Auges 134
4. Ueber die Entstehung des Sehfeldes 145
5. Ueber den Einfluss der Augenbewegungen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung 170

Vierte Abhandlung: über das Sehen mit zwei Augen 181

1. Ueber den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung 182
2. Ueber die combinirten Augenbewegungen 199
3. Ueber den Horopter 240
4. Ueber die binokulare Tiefenwahrnehmung 263

Seite

Fünfte Abhandlung: über einige besondere Erscheinungen des Sehens mit zwei Augen 299
1. Ueber die Entstehung des Glanzes 300
2. Ueber den binokularen Contrast 321
3. Ueber den Wettstreit der Wahrnehmungen 358
Sechste Abhandlung: über den psychischen Prozess der Wahrnehmung 376
1. Ueber das Gemeinfühl 376
2. Ueber den Muskelsinn 400
3. Die Entstehung und Ausbildung der Sinneswahrnehmung . . 422
4. Logische Zergliederung der Wahrnehmungsprocesse 436
5. Empfindung, Wahrnehmung, Vorstellung 445

Beiträge

zur

Theorie der Sinneswahrnehmung.

Einleitung.

Ueber die Methoden in der Psychologie.

Es ist eine Lehre, die auf jeder Seite die Geschichte der Naturwissenschaften uns einprägt, dass die Fortschritte jeder Wissenschaft innig an den Fortschritt der Untersuchungsmethoden gebunden sind. Die ganze neuere Naturwissenschaft hat aus einer Umwälzung der Methodik ihren Ursprung genommen, und wo in derselben neue grosse Erfolge errungen wurden, da kann man sicher sein, dass die Verbesserung bisheriger oder die Auffindung neuer Methoden den Erfolgen vorausging.

Wenn man die Psychologie als eine Naturwissenschaft betrachtet, so muss es im höchsten Grad auffallen, dass jene grossen Umwälzungen, welche die physikalischen Wissenschaften seit der Zeit Baco's und Galilei's vollständig neu gestaltet haben, auf sie ganz ohne Wirkung geblieben sind. Denn von der Psychologie kann man mit grösserem Rechte sagen, was Kant einst von der Logik bemerkt hat: sie sei seit Aristoteles nicht um einen Schritt weiter gekommen. Die Logik ist wenigstens stehen geblieben, aber die Psychologie ist vielfältig rückwärts gegangen.

Wenn man jedoch die Probleme in's Auge fasst, die von den Psychologen mit besonderer Vorliebe behandelt werden, so kann man über den langsamen Fortschritt dieser Wissenschaft nicht in Verwunderung kommen. Die Fragen nach der Beschaffenheit, dem Sitze, dem Ursprung und den künftigen Schicksalen der Seele sind von jeher vor Allem zum Gegenstand psychologischer Untersuchung genommen worden. Zuweilen war man sogar der Ansicht, dass, ehe über jene Fragen entschieden sei, auch die Erscheinungen des Seelenlebens in ihrem ursächlichen Zusammenhang nicht könnten begriffen

werden. Selbst in der heutigen Psychologie, in der im Ganzen ein Fortschritt zur naturwissenschaftlichen Methodik nicht zu verkennen ist, spielen derartige Untersuchungen unverkennbar die Hauptrolle.

Es gehören aber jene Fragen grösstentheils nicht der naturwissenschaftlichen Psychologie, sondern der Metaphysik an, die, weil sie keine Naturwissenschaft ist, auch von den Verbesserungen der naturwissenschaftlichen Methodik keinen Nutzen hat ziehen können. Mag man nun auch der Besprechung der metaphysischen Probleme, die hinter der Psychologie stehen, eine gewisse Berechtigung zuerkennen, so wird man doch daran festhalten müssen, dass dieselben in die wissenschaftliche Psychologie bis jetzt ebenso wenig gehören, als man Betrachtungen über den Urgrund der Dinge in der Physik duldet.

Eine vorurtheilsfreie Kritik wird eingestehen müssen, dass alle jene Untersuchungen über das Wesen der Seele und ihr Verhältniss zur Körperlichkeit bis jetzt ausserordentlich wenig Erfolge gehabt haben. Man bewegt sich fortwährend im Kreise. Das Neue was zu Tage gefördert wird ist stets in ähnlicher Form schon vorhanden gewesen, und das letzte Wort bleibt immer einer nach allen Seiten hin verneinenden Kritik, die wenigstens den einen Erfolg hat, dass sie alle vermeintlichen positiven Resultate in Frage stellt.

Eine hartnäckige Verfolgung dieser metaphysischen Untersuchungen ist aber um so weniger geboten, als in der Psychologie unendlich viele Aufgaben offen stehen, die von metaphysischen Grundfragen vollkommen unabhängig und einer selbständigen Lösung zugänglich sind, so dass es wahrlich eine unnütze Kraftverschwendung scheint, wenn man immer wieder auf solche ziellose Discussionen über das Wesen der Seele zurückkommt, wie dies eine Zeitlang zur Mode des Tages gehörte und beinahe noch gehört, und wenn man nicht lieber dahin seine Arbeit wendet, wo sie von wahrem Erfolg ist.

Es wäre mit der Physik schlecht bestellt, wenn die Physiker, statt in die bunte Mannigfaltigkeit der Erscheinungen mitten hineinzugreifen, etwa hätten anfangen wollen zu spekuliren über das Wesen der Materie, und wenn sie alle Probleme zur Seite geschoben hätten bis zur gründlichen Erledigung dieser speculativen Frage. Warum folgt die Psychologie nicht dem Beispiel der Naturwissenschaften? warum will sie hartnäckig da beginnen, wo sie höchstens wird endigen können? Die grosse Menge der Seelenerscheinungen ist in sich so abgeschlossen, dass sie recht gut einer unabhängigen wissenschaftlichen Untersuchung fähig ist. Und entschliesst man sich ein-

mal, diese Untersuchung aufzunehmen, unbeirrt von vorgefassten Ansichten, so wird man unerwartet schliesslich auch auf die metaphysischen Grundfragen der Psychologie wieder zurückkommen, und man wird ihnen dann näher stehen, als das jetzt möglich ist.

Es lässt sich nicht verkennen, dass in der heutigen Psychologie ein grosser Fortschritt zum Bessern gelegen ist. Dieser Fortschritt hängt zusammen mit einer wesentlichen Reform der Ansichten über das Wesen und die Aufgabe der Philosophie überhaupt. Mehr und mehr bricht sich die Anschauung Bahn, die Philosophie müsse wie alle Wissenschaft von dem Boden der Erfahrung ausgehen. Selbst die Metaphysik, die eine Zeit lang schien alle Wissenschaft nicht nur beherrschen, sondern selbst schaffen zu sollen, wird wieder in die Grenzen zurückgewiesen, die ihr schon Aristoteles gezogen hat, der sie als diejenige Wissenschaft betrachtete, welche die Resultate aller anderen Wissenschaften zum Gegenstand ihrer besondern Untersuchungen macht.

Je mehr aber die Philosophie sich sorgfältiger in dem Gebiete des realen Geschehens umzusehen anfängt, um so grössere Bedeutung und Berücksichtigung ist der Psychologie zu Theil geworden; ist sie ja doch auch bisher diejenige philosophische Disciplin gewesen, die bis zu einem gewissen Punkte wenigstens sich als Erfahrungswissenschaft gab. So ist dieses stiefmütterlich behandelte Kind der idealistischen Systeme in unsern Tagen immer mehr in den Vordergrund getreten und hat, in dem Masse, als die Metaphysik zurücktrat, an Boden gewonnen. Fast kann man sagen, dass unsre ganze Philosophie gegenwärtig Psychologie ist.

Trotzdem lässt sich kaum behaupten, dass in der Psychologie schon ein fundamentaler Fortschritt geschehen sei. Noch jetzt besitzen wir an ihr kaum mehr als einen Haufen von Thatsachen ohne Ordnung und ohne Zusammenhang. Und der Weg, den die meisten philosophischen Denker noch heute einschlagen, um diese Ordnung und diesen Zusammenhang zu finden, scheint wenig geeignet ein besseres Ziel zu erreichen. Man sucht nach neuen Gesichtspunkten und neuen Ideen, und man hofft, die Idee werde als leuchtender Funke in das dunkle Chaos ungeordneten Wissens plötzlich Licht bringen können. Aber die Idee bedarf eines Inhalts, den sie nur aus den Thatsachen schöpft; und in Bezug auf die Thatsachen hält man sich immer noch im Wesentlichen an das, was die oberflächlichste Beobachtung des Bewusstseins liefert. Unsere Psychologie ist desshalb heute noch, wie bei Aristoteles, und mehr

noch als sie es bei ihm war, eine Wissenschaft von den Thatsachen des Bewusstseins. Aber es unterliegt keinem Zweifel, dass das Bewusstsein selbst und Alles was in ihm geschieht schon verwickelte Phänomene sind. Hier wie überall in der Natur ist es so, dass nur die komplicirte Erscheinung unmittelbar sich unserer Beobachtung bietet, dass aber das Einfache uns zunächst verborgen bleibt. Dieses Einfache, auf das wir erst durch die Zergliederung der zusammengesetzten Erscheinungen kommen können, das seinerseits aber uns die Prinzipien zur Erforschung dieser zusammengesetzten Erscheinungen an die Hand giebt, sind in der Psychologie die Anfänge des Seelenlebens, — und zwar die Anfänge im einzelnen beseelten Wesen sowohl wie in der ganzen Stufenleiter beseelter Geschöpfe. Wie die Anatomie erst in ihr wissenschaftliches Stadium getreten ist, seit mikroskopische Zergliederung und embryologische Forschung uns die Anfänge der Formen kennen lehrten, an welchen sich die Gesetze für den Aufbau der Gewebe und des Organismus erforschen lassen, so wird vielleicht auch die Psychologie erst dann sich von dem Beiwerk metaphysischer Hypothesen, das sie jetzt noch umgiebt, befreit haben und auf dem Boden eigener Gesetze stehen, wenn es gelungen ist die Seelenerscheinungen in den Anfängen ihres Auftretens festzuhalten und der Zergliederung zugänglich zu machen. Es sind zwei Wissenschaften, die in dieser Hinsicht der allgemeinen Psychologie zu Hülfe kommen müssen: die Entwicklungsgeschichte der Seele und die vergleichende Psychologie. Jene hat die allmälige Ausbildung des Seelenlebens beim Menschen zu verfolgen, diese hat die Verschiedenheiten desselben darzustellen in der Thierreihe und in den Völkerracen des Menschengeschlechts.

Es würde ein unermesslicher Fortschritt sein, wenn man diese wenig angebauten Wissenschaften, in denen ein reicher Schatz von Beobachtungen unbenützt liegt, und in denen ein reicherer Schatz noch zu heben ist, mit Eifer in Angriff nähme. Die Schwierigkeiten, die sich hier bieten, sind freilich nicht gering, aber sie sind wenigstens nicht unbesieglich, wie es die metaphysischen Probleme bis jetzt und vielleicht lange noch sind.

In der That ist mit den genannten Hülfswissenschaften der Psychologie schon von manchen Seiten ein Anfang gemacht worden. Aber dieser Anfang nimmt, wie mir scheint, die Sache meistens noch nicht in der richtigen Weise in Angriff. So vermag man sich in der vergleichenden Psychologie noch immer nicht von dem hergebrachten Vorurtheil freizumachen,

das alle psychischen Erscheinungen in der Thierwelt einem Instinkte zuschreibt, durch den das ganze psychische Leben in unerklärlicher Weise prädestinirt ist. Ferner steht in der Völkerpsychologie ein reiches Gebiet offen, für das in Sprachkunde, Cultur- und Sittengeschichte schon grosse Vorarbeiten vorhanden sind, die aber für die Psychologie noch fast gar nicht verwerthet wurden.*)

Auch in der Entwickelungsgeschichte der Seele ist man nicht in einer Weise verfahren, die einen Einblick in das Wesen der Entwicklung zu gewinnen verspricht. Man hat sich hier meistens an die unmittelbare Beobachtung gehalten. Diese kann, wie ich glaube, im Allgemeinen nur als Controle der auf anderem Wege gewonnenen Resultate zur Anwendung kommen; denn der Mensch auf den ersten Stufen seiner Entwickelung ist uns fast ebenso fremd wie ein Wesen anderer Art. Nur dadurch können wir zu positiven Ergebnissen hier gelangen, dass wir berechtigt sind, eine Continuität der Entwicklung vorauszusetzen und aus Beobachtungen am entwickelten Menschen weittragende Rückschlüsse zu machen auf die Gesetze seiner Entwicklung.

Die Entstehung der Empfindung und Wahrnehmung gehört zweifelsohne zu den wichtigsten Momenten dieser Entwicklung. In der Empfindung berühren sich unmittelbar die Gebiete des körperlichen und psychischen Geschehens, und die Wahrnehmung ist die erste und vielleicht einfachste Verrichtung rein psychischer Art. Zu finden, wie der physische Empfindungseindruck zur Empfindung wird, dieses Problem ist noch wenig in Angriff genommen, und wir scheinen von der Beantwortung dieser Grundfrage der Psychologie, die zugleich eine Grundfrage aller philosophischen Spekulation ist, noch immer in weiter Entfernung zu stehen. Viel näher seiner Lösung ist ohne Zweifel das Problem der Wahrnehmung. Wir besitzen hier eine Menge werthvoller physiologischer Beobachtungen, die vielleicht schon lange zu einer abgeschlossenen Theorie der Wahrnehmungsprozesse geführt haben würden, wenn man den Begriff der Wahrnehmung mit genügender Schärfe festgestellt und dieselbe nicht fortwährend vermengt hätte mit der Empfindung und Vorstellung. Da man aber immer nur die komplexe Erscheinung betrachtete und nicht in ihren Zusammenhang eindrang, so kam es hier wie überall, dass man

*) Erst in der „Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachkunde“ von Lazarus und Steinthal ist neuerdings ein trefflicher Anfang hierzu gemacht worden.

theils Zusammengehöriges trennte, theils Getrenntes zusammenwarf. Warum aber drang man nur so sehr unvollkommen in den Zusammenhang der psychischen Erscheinungen ein? offenbar desshalb, weil man sich fast durchweg mit der rohesten Beobachtung begnügte und keinen Versuch machte, durch bessere Methoden die Beobachtungen zu schärfen und auszudehnen. So werden wir, von welcher Seite wir auch eine psychologische Untersuchung in Angriff nehmen mögen, immer wieder auf den Punkt zurückgeführt, von dem wir ausgingen, auf die Verbesserung der Methodik. Wenn es nicht gelingt, auf dem bisherigen Wege zu einer befriedigenden Lösung der sich aufdrängenden Fragen zu kommen, — nun denn, so muss man es versuchen, andere Wege ausfindig zu machen, neue Methoden zu entdecken, die neue Thatsachen und mit diesen vielleicht erst den Zugang zu den Gesetzen des psychischen Lebens uns aufschliessen.

Wir wollen zunächst die bisher in der Psychologie gebrauchten Methoden betrachten, es werden, wenn wir den Massstab naturwissenschaftlicher Kritik an sie anlegen, leicht ihre Mängel sich entdecken lassen. Kennen wir aber erst diese, so wird es vielleicht nicht schwer sein, auch Mittel und Wege zu ihrer Verbesserung aufzufinden.

Es sind in der Psychologie bisher fast ausschliesslich zwei Methoden der Untersuchung befolgt worden: die Selbstbeobachtung und die Ableitung der Erscheinungen des Seelenlebens aus metaphysischen Hypothesen. Davon ist die erste mangelhaft, weil sie immer nur einen kleinen Theil der Erscheinungen umfasst, die zweite aber ist im Prinzip zu verwerfen.

Alle Psychologie beginnt mit der Selbstbeobachtung, und diese bleibt zur Beurtheilung der ausser uns stehenden psychischen Erscheinungen immer ein unentbehrliches Hülfsmittel. Aber sie ist völlig unzureichend, wenn es sich darum handelt, auf die Anfänge und die Ursachen der Erscheinungen zurückzugehen. Die Selbstbeobachtung kann nie hinaus über die Thatsachen des Bewusstseins, mit diesen fängt daher eine auf die Selbstbeobachtung gegründete Wissenschaft an, während sie damit endigen sollte. Denn die Erscheinungen des Bewusstseins sind zusammengesetzte Produkte der unbewussten Seele, aus deren Beschaffenheit, sobald sie einmal fertig in's Bewusstsein getreten sind, sich nur selten noch unmittelbar auf ihre Bildung zurückschliessen lässt. Die auf die Selbstbeobachtung gegründete Psychologie, die vorzugsweise als empirische Psychologie sich bezeichnete, muss sich daher auf eine ordnungslose Aneinanderreihung der Thatsachen des Bewusstseins beschränken;

und da sie eine innere Verknüpfung dieser Thatsachen nicht aufzufinden vermag, so zersplittert sie das Zusammengehörige in eine Menge aus einander fallender Einzelnheiten. Auf diese Weise ist die empirische Psychologie dazu gekommen, jede Thätigkeitsäusserung der Seele als Aeusserung eines besonderen Seelen**vermögens** darzustellen. Die Unterscheidung der Seelenvermögen ist der getreue Ausdruck eines Zustandes der Wissenschaft, in welchem das Ganze vollständig in seinen einzelnen Erscheinungen aufgeht, und in welchem an die Stelle des Systems die äusserliche Trennung zusammenhangloser Thatsachen tritt.

Dieser Verwirrung der empirischen Psychologie traten mit grossem Erfolg philosophische Schulen entgegen, welche sich die Ableitung der Seelenerscheinungen aus bestimmten metaphysischen Hypothesen zur Aufgabe machten. Der Vortheil dieser Psychologie lag darin, dass gerade die Schwächen des empirischen Lehrgebäudes die starken Seiten der metaphysischen Methode bildeten. Fiel dort Alles in eine ungeordnete Masse von Erfahrungen auseinander, so war hier ein festgeschlossenes System vorhanden, in welchem alles Einzelne seine bestimmte Stelle erhielt. Dagegen bestand der grosse Nachtheil dieser Methode darin, dass, sobald das metaphysische Fundament, auf welchem das Gebäude errichtet war, nicht mehr Stand hielt, auch der ganze Bau zusammenstürzte. Die empirische Psychologie lieferte wenig, aber das Wenige war gesichert, die metaphysische Psychologie gab Alles, aber wenn nur Eines bezweifelt wurde, so kam bei ihr Alles in Frage. Dabei blieb auf den Metaphysiker die Empirie nie ohne Einfluss, seine Folgerungen fielen meistens unter zwei Kategorien: es waren Folgerungen, die sich nicht durch die Erfahrung bestätigen liessen, und solche, die als unzweifelhafte Thatsachen der Beobachtung anerkannt werden mussten. Gewöhnlich aber waren nur die Folgerungen der ersten Kategorie wirklich aus der metaphysischen Hypothese abgeleitet, die Folgerungen der zweiten Kategorie waren sehr häufig nur in das System hineingeschmuggelt.

Die empirische Psychologie hat den für einen unvollkommenen Zustand der Wissenschaft meistens gebotenen **induktiven** Weg befolgt, sie hat aber die Hülfsmittel der Induktion bei weitem nicht alle erschöpft, die metaphysische Psychologie verfuhr **deduktiv**, aber die Art und Weise wie sie zur Deduktion gelangte muss prinzipiell angegriffen werden. Denn die Grundgesetze, von denen man ausging, waren weder aus der Masse aller Einzelerscheinungen induktiv erschlossen, noch

waren sie überhaupt aus dem psychischen Gebiete hergenommen, sondern es waren rein metaphysische Hypothesen, die man an die Spitze des Systems stellte. Die Metaphysik ist aber eine Wissenschaft, die der Psychologie zunächst fremd ist. Es ist nun im grossen Reich des Wissens allerdings nicht ungewöhnlich, dass ein Gebiet vom andern sein Licht empfängt. Jeder Fortschritt in der theoretischen Mechanik hat auch die physikalischen Wissenschaften gefördert, und die Mechanik selber ist in ihrem Fortschreiten innig gebunden gewesen an die allgemeinste Wissenschaft des Raumes, die Geometrie. Ein Beispiel, das mit unserm Gegenstand innig zusammenhängt, bietet ferner die Nationalökonomie. Erst seit Adam Smith auf die glückliche Idee kam, die Psychologie des menschlichen Individuums auf die menschliche Gesellschaft auszudehnen, existirt eine Gesellschaftslehre als Wissenschaft. Und diese ist von vornherein deduktiv gewesen, die einfachsten Thatsachen der praktischen Psychologie hat sie zum Ausgangspunkt genommen und mit diesen hat sie ihr ganzes eigenes Gebiet sich aufgeschlossen; man könnte die Nationalökonomie mit noch grösserem Rechte, als man sie Physik der Gesellschaft genannt hat, als Psychologie der Gesellschaft bezeichnen.

Aber mit der Metaphysik ist es ein anderes Verhältniss. Wer die Zersplitterung der Ansichten über alle metaphysischen Fragen kennt, der muss, wenn er nicht überhaupt an der Möglichkeit einer Metaphysik zu zweifeln gelernt hat, doch zugeben, dass unsere heutige Metaphysik nicht nur weit von ihrer sichern Begründung entfernt ist, sondern dass in diesem Gebiete noch nicht einmal irgend etwas hinreichend feststeht, um bei allen Denkern zu einer übereinstimmenden Meinung geführt zu haben. Es müsste also mindestens als ein gefährliches Unternehmen erscheinen, wenn man eine so fragwürdige Wissenschaft einer andern, die sich über viele Thatsachen doch wenigstens schon im Klaren ist, zur Grundlage nehmen wollte. Aber es lässt sich noch ein schwererer Vorwurf gegen diese Begründung der Psychologie erheben. Man kann nämlich fragen, ob die Psychologie zur Metaphysik überhaupt in einem ähnlichen Verhältnisse steht wie die Mechanik zur Geometrie oder wie die Gesellschaftslehre zur Psychologie.

Bei den letzteren Wissenschaften ist das Verhältniss so, dass die Wissenschaft, welche die andere gegründet hat, selber wenigstens in ihrer fundamentalen Entwicklung von dieser ganz unabhängig gewesen ist. Eine Geometrie lässt sich denken auch ohne jede Kenntniss der Bewegungsgesetze, aber die Bewegung lässt sich nicht denken ohne den Raum, in dem sie

geschieht. Die Psychologie ist zu ihren Grundthatsachen bloss durch die Beobachtung gekommen ohne alle Rücksicht auf die menschliche Gesellschaft im Grossen und Ganzen, aber die Gesetze, welche das Leben der menschlichen Gesellschaft bewegen, liessen sich erst verstehen, als man anfing an der Hand der Selbstbeobachtung sie zu studiren. Dies ist nun ganz anders mit der Metaphysik. Wenn wir wirklich eine Metaphysik besässen, so wäre es vielleicht möglich die Psychologie aus ihr abzuleiten, aber Alles spricht dafür, dass nicht die Psychologie der Metaphysik, sondern, wenigstens in dem ganzen Gebiet der innern Erfahrung, umgekehrt die Metaphysik der Psychologie zu ihrer festen Begründung bedarf. Auch was heute sich Metaphysik nennt geht ja immer aus von psychologischen Erfahrungen, aber freilich, weil sie grundsätzlich die Erfahrung vermeiden will, ohne ihr doch je entgehen zu können, raubt sie sich nur verstohlen etwas von dem Reichthum der psychologischen Thatsachen, der ihr doch ganz und frei zur Verfügung stünde.

Der Versuch die psychologischen Thatsachen auf metaphysischem Grunde aufzubauen, hängt auf's innigste zusammen mit der mathematischen Behandlungsweise der Psychologie. Diese ist eine fast nothwendige Folge davon, dass die metaphysische Psychologie die deduktive Methode in sich einschliesst. Wo in einer Wissenschaft eine grössere Zahl von Thatsachen aus einigen Axiomen durch eine Reihe mehr oder minder verwickelter Schlüsse sich ableiten lässt, ohne dass doch zu dieser Ableitung die einfachen Verfahrungsweisen der formalen Logik genügen, da wird die Wissenschaft genöthigt die mathematische Zeichensprache zu Hülfe zu nehmen. Diese ist nur ein wirksames Hülfsmittel des Denkens, nur eine vervielfältigte Anwendung der logischen Gesetze, welche die Denkresultate auf jeder einzelnen Stufe der Schlussreihe durch bestimmte Zeichen fixirt.*) Die mathematische Behandlungsweise tritt daher im Allgemeinen in ausgedehnterem Massstabe ein, sobald eine Wissenschaft vollständig deduktiv geworden ist, d. h. sobald sie zu den letzten Erscheinungen gelangt ist, aus denen sich ihr ganzes Erfahrungsgebiet ableiten lässt. Sobald man daher der Ansicht war, aus metaphysischen Axiomen die Gesammtheit

*) Der Mathematiker dürfte diese Definition leicht zu weit finden, weil die Mathematik in der That bis jetzt eine so allgemeine Anwendung noch nicht gefunden hat. Aber es lässt sich, wie mir scheint, nicht verkennen, dass die ganze neuere Mathematik dieser Verallgemeinerung des Calküls, die sie lediglich zu einer erweiterten Logik macht, zustrebt.

der Seelenerscheinungen deduciren zu können, lag der Gedanke an eine Herbeiziehung der Mathematik als Hülfsmittel sehr nahe.

Dafür dass die Metaphysiker von jeher deduktiv in der Psychologie verfuhren ist die ausgedehnte Anwendung der Mathematik in dieser Wissenschaft sogar eine ziemlich späte Erscheinung. Sie trat erst ein von dem Moment an, wo man nicht bloss die eigentlich metaphysischen Probleme der Psychologie zu deduciren suchte, sondern wo man die Deduktion aus metaphysischen Sätzen auf das ganze Gebiet der Erfahrung auszudehnen strebte. Bei Aristoteles scheidet sich die Psychologie in zwei Theile, in einen deduktiven, in welchem das Wesen der Seele aus Begriffen entwickelt wird, und in einen induktiven, in welchem die durch die Erfahrung gegebenen Eigenschaften der Seele der Untersuchung unterworfen werden. Die gleiche Unterscheidung taucht dann später in viel schärferer Weise bei Christian Wolff wieder auf, der in der rationalen Psychologie die übersinnliche Natur der Seele nach Leibnitz'scher Metaphysik zu bestimmen sucht, und in der empirischen Psychologie die verschiedenen Seelenvermögen, wie er sie durch die Beobachtung gegeben glaubt, abhandelt. Diese Unterscheidung in rationale und empirische Psychologie ging erst in den idealistischen Systemen dieses Jahrhunderts wieder verloren. Aber die Psychologie erfuhr in denselben überhaupt eine sehr untergeordnete Berücksichtigung. Diese Systeme, die überall bestrebt waren auf das strengste deduktiv zu verfahren, indem sie aus einer gewissen Summe von Begriffen die Wissenschaften konstruirten, gingen gerade in der Psychologie am lässigsten zu Werke, sie entnahmen meistens nur das allgemeine Schema dem System, füllten dann aber dieses Schema mit einem Inhalt aus, welcher ganz innerhalb der Grenzen der hergebrachten Empirie sich hielt, und in welchem nur der durch die Erfahrung gegebene genetische Zusammenhang der Erscheinungen zerstört war, um ihn durch den Schein eines begrifflichen Zusammenhanges zu ersetzen, der unter der Hand der Kritik sich in eine willkürkürliche Unordnung auflöste. Am augenfälligsten ist dies zuletzt von Hegel und seiner Schule geschehen. Erst eine realistischere Richtunng der Metaphysik, die in Herbart ihren Ausdruck fand, hat der Psychologie grössere Aufmerksamkeit zugewendet, und so ist denn auch Herbart der Schöpfer der mathematischen Psychologie geworden.

Herbart ist der Ansicht gewesen, durch die mathematische Behandlung die Psychologie mindestens zu derselben Sicherheit zu fördern, welche diejenigen Naturwissenschaften erreicht haben, die einer durchgeführten mathematischen Be-

handlungsweise fähig sind. Wenn wir die wirklichen Ergebnisse der mathematischen Psychologie prüfen, so muss es diesen hohen Erwartungen gegenüber befremden, dieselbe in der Erklärung der Einzelerscheinungen, die doch immer der Massstab für den Fortschritt im Ganzen sein muss, im Wesentlichen nicht über dasjenige hinauskommen zu sehen was schon längst vorher einzelnen aufmerksamen Beobachtern des Seelenlebens bekannt war, ja was zum grossen Theil schon vor zweitausend Jahren Aristoteles in seiner an Beobachtungen und Ideen so reichen Schrift über die Seele gegeben hatte. Die mathematische Psychologie hat nur theils längst bekannte Thatsachen in Formeln gebracht, theils aber ist sie auch auf dem Wege der Rechnung zu Resultaten gelangt, die als zweifelhaft oder sogar als unrichtig bezeichnet werden müssen.*) Die parteilose Prüfung der Einzelergebnisse muss also unwiderleglich darthun, dass hier der Weg noch nicht gefunden ist, auf dem ein besseres Ziel in der Erklärung der Seelenerscheinungen zu erreichen wäre.

Dagegen lässt sich nicht leugnen, dass der mathematischen Psychologie ein grosses Verdienst zukommt, ein Verdienst, das allerdings mit ihrer schwachen Seite auf's unmittelbarste zusammenhängt. Sobald man nämlich bestrebt war, alle Einzelthatsachen der Wissenschaft aus einem einzigen Axiom mathematisch zu deduciren, so hatte man damit, wenn auch, wie man häufig glaubte, eine fragliche Einheit der Seele nicht war bewiesen worden, doch eine Einheit der psychologischen Wissenschaft, eine Einheit der Seelenerscheinungen anerkannt. Dieser Schritt, durch die mathematische Schule zum ersten Mal thatsächlich durchgeführt, war aber ein ungemein wichtiger. Eine frühere Psychologie hatte nichts gethan, als dass sie das was die roheste Beobachtung zeigte ziemlich planlos an einander reihte. Indem jede der Hauptthätigkeitsäusserungen der Seele als Aeusserung eines besondern Seelenvermögens dargestellt wurde, ging das Seelenleben als Ganzes vollständig in seinen einzelnen Erscheinungen auf. Erst die mathematische Psychologie hat das Seelenleben als ein Ganzes und die einzelnen seelischen Aeusserungen lediglich als besondere Erscheinungsweisen eines einheitlichen Grundwesens betrachtet. Sie hat daher im Grossen und Ganzen eine systematische Wissenschaft angebahnt, und dieses Verdienst bleibt ihr, auch wenn ihr eigenes Gebäude ganz zusammenfallen sollte.

*) Gerade das metaphysische Axiom, auf welches die ganze Herbart'sche Psychologie aufgebaut ist, lässt direkt durch das Experiment sich widerlegen,

Den Grundfehler jeder metaphysischen Methode in der Psychologie hat aber auch die mathematische Psychologie getheilt. Das Prinzip, von welchem sie bei ihren Deduktionen ausging, war nicht aus der Wissenschaft selber hervorgewachsen, sondern von einer fremden Wissenschaft hergenommen, die noch vollständig im Argen lag, und die selber von der Psychologie abhängig war, die Thatsachen endlich flossen nicht mit Nothwendigkeit aus diesem Prinzip her, sondern das Prinzip wurde den Thatsachen anbequemt.

Aber auch in der Durchführung der deduktiven Methode hat gerade die mathematische Psychologie einen Weg eingeschlagen, der, wenn es je einmal möglich sein sollte die Psychologie mit Erfolg deduktiv zu behandeln, nicht der richtige sein dürfte. Das ganze Gebäude dieser mathematischen Psychologie besteht nämlich in einer Statik und Mechanik der Vorstellungen. Sie betrachtet die Vorstellungen als Massen, die mit bestimmten Kräften auf einander wirken, und die dadurch bestimmten Bewegungen unter sich erzeugen; sie macht also ihr Material dadurch einer mathematischen Behandlungsweise zugänglich, dass sie dasselbe räumlich versinnlicht. Dies ist aber eine Beschränkung, die weder durch den Gegenstand, der mit räumlichen Massen und Bewegungen gar nichts zu thun hat, noch selbst durch das Hülfsmittel, durch den mathematischen Calkül, gefordert ist. Geometrie und Mechanik, diese reinsten Wissenschaften des Raumes, sind allerdings diejenigen Gebiete, auf welche die Mathematik vorzugsweise angewandt zu werden pflegt, und von welchen dieselbe auch ihren ursprünglichen Ausgang genommen hat. Die physischen Naturwissenschaften bewegen sich auf dem Gebiete räumlichen Geschehens, sie knüpfen daher unmittelbar an geometrische und mechanische Betrachtungen an, sie lassen sich, wo sie vollständig deduktiv ausgebildet sind, als unmittelbare Anwendungen jener beiden Grundwissenschaften betrachten. Ginge die Mathematik, wie es auf einer gewissen Stufe ihrer Ausbildung der Fall war, vollständig auf in den Wissenschaften des Raumes, aus denen sie sich ursprünglich hervorbildete, so würde überhaupt von einer ausgedehnten Anwendung der Mathematik auf die moralischen Wissenschaften kaum die Rede sein können. Aber die Mathematik hat es schon lange zu einer weit allgemeineren Bedeutung gebracht. Der Schritt, durch den sie zu dieser Bedeutung gelangt ist, lag vor Allem in der Erfindung der Differentialrechnung: damit begab sie sich auf den Boden eines Calküls, der zwar zunächst gerade für Geometrie und Mechanik äusserst fruchtbringend wurde, der aber an sich von diesen

Wissenschaften gänzlich unabhängig ist, indem er zwar mit mathematischen Funktionen beginnt, die räumlich dargestellt werden können und zunächst auch auf geometrischem Wege gefunden wurden, von diesen aber kontinuirlich zu Funktionen übergeht, die einer räumlichen Darstellung nicht mehr fähig sind. Wir haben es also hier nicht zu thun mit einer ursprünlichen Trennung, wie z. B. zwischen Zahlentheorie und Geometrie, die jeden einzelnen dieser Zweige nur einer beschränten Anwendung fähig macht, sondern in der mathematischen Methode liegt sogleich die ganze allgemeine Bedeutung dieses Calküls, der es uns gleichsam zur Anschauung bringt, dass die räumliche Beschränkung auf 3 Dimensionen nur eine besondere Eigenschaft unserer Sinnlichkeit ist, dass es aber im reinen Denken eine solche Beschränkung nicht giebt.

Die Anwendung der Mathematik auf die moralischen Wissenschaften ist, wenn sie auch bisher eine eng begrenzte war und wohl lange noch bleiben wird, doch an sich keineswegs als eine unmögliche anzusehen. Vor Allem durch die Erfindung der Differentialrechnung hat die Mathematik von einem beschränkten Hülfsmittel der physischen Wissenschaften sich zu jenem allgemeinen Hülfsmittel des Denkens erhoben, das sie zu einer möglichen, ja nothwendigen Anwendung bringt, wo die Thatsachen zu weitgehenden Schlussfolgerungen überhaupt reif sind. Es ist in dieser Hinsicht bedeutsam, dass gerade der eine Erfinder der Differentialrechnung der Idee einer mathematischen Behandlungsweise der moralischen Wissenschaften einen grossen Theil seines Strebens widmete. Es war dies ein Zug, der Leibnitz durch sein ganzes Leben begleitete. Zweimal hat er zur Durchführung dieser Idee einen Anlauf genommen: zuerst in der Ausbildung der Kombinationslehre und dann in der Erfindung der Differentialrechnung. In dieser war vielleicht das Hülfsmittel, das er suchte, gefunden, aber zu der ausgedehnten Anwendung, wie sie ihm vorschwebte, war die Zeit noch nicht reif und war vor Allem die neue Methode nicht genug ausgebildet. So kam es, dass Leibnitz selbst die Bedeutung seiner Erfindung bei weitem nicht in ihrem vollen Umfang erkannte, und dass er immer noch fortfuhr nach jenem allgemeinen Hülfsmittel des Denkens zu suchen, das er vielleicht schon in Händen hatte.*)

*) In den ersten Darstellungen seiner neuen Rechnungsmethode ist Leibnitz einer scharfen philosophischen Auffassung des Differentialbegriffs viel näher gekommen als später, wo er immer mehr die Differentiale als unendlich kleine Grössen verschiedener Ordnung zu bezeichnen pflegt, eine Bezeichnungsweise, die zwar für die Praxis meistens ausreicht, aber weder mathematisch noch philosophisch genügend ist.

Wenn es sich als Ergebniss unserer Kritik herausgestellt hat, dass die bisherigen Methoden der Psychologie unzureichend waren, so erhebt sich jetzt die Frage, auf welche Weise denn diese Methoden zu verbessern seien. Ich glaube, dass diese Frage im Allgemeinen nicht schwer zu beantworten ist. Man wird hierbei, da, wie wir nachgewiesen haben, die eingeschlagene deduktive Methode prinzipiell zu verwerfen ist, nur an das induktive Verfahren anknüpfen können, das die empirische Psychologie schon seit lange befolgt hat. Aber es wird nachzuforschen sein, ob die Induktion nicht in viel weiterem Umfange als bisher geschehen ist in den psychologischen Untersuchungen zur Anwendung kommen kann. Es giebt nach meiner Ansicht zwei Wege, auf denen dies möglich ist: der erste besteht in einer Erweiterung der bisherigen Beobachtungsmethode, der zweite in der Herbeiziehung des Experiments als Untersuchungshülfsmittel.

Ich habe oben bemerkt, dass die Gesellschaftslehre in ihrer heutigen Gestalt nur dadurch geschaffen worden ist, dass man die Resultate der psychologischen Beobachtung am Individuum ausdehnte auf das Leben der Völker. Aber jetzt beginnt diese Wissenschaft allmählig von der Basis, auf der sie ruht, sich zu befreien und ihr eigenes Fundament zu gründen. Dieses Fundament besteht in der Feststellung einer grossen Zahl von Thatsachen durch die Statistik. Mit Hülfe der statistischen Untersuchungen fängt erst die Nationalökonomie an sich zu erheben zu einer wahren Naturgeschichte der menschlichen Gesellschaft, die auf dem Boden eigener Gesetze weit sicherer als auf fremdem Grunde ruht. Es lässt sich nicht verkennen, dass in unsern Tagen die Gesellschaftslehre im Begriff ist diesen grossen Umschwung zu erfahren, aber der Umschwung ist noch nicht vollendet, er ist kaum in seinen Anfängen vorhanden; das von der Statistik gebotene Material genügt noch lange nicht, um auf ihm die Wissenschaft neu zu errichten. In dem Masse aber als die Gesellschaftslehre zu einer selbststän-Wissenschaft wird, beginnt auch ihr Verhältniss zur Psychologie sich umzukehren. Sie ist nun nicht mehr wie bisher abhängig von der Psychologie, sondern es finden sich im Gegentheil in den statistischen Ermittelungen der Nationalökonomen eine Menge Thatsachen, die unmittelbar zu wichtigen psychologischen Schlussfolgerungen geeignet sind. Es hat in dieser Beziehung die neue Statistik, so klein das was sie geleistet hat ihrer ganzen Aufgabe gegenüber erscheint, doch für den Psychologen schon ein äusserst reichhaltiges Material geschaffen, das nur noch so gut wie unbenützt geblieben ist. Es kann

aber auf diesem Wege für die Psychologie nicht nur Neues gewonnen werden, sondern es hat diese Methode auch den unendlichen Vortheil, dass sie an die Stelle vager Vermuthungen eine unerschütterliche Gewissheit setzt, dass sie nicht unbestimmte Folgerungen sondern Schlüsse mit mathematischer Sicherheit zu ziehen erlaubt.

Nur wenige Beispiele mögen dies belegen. Die äussern Ursachen des Selbstmordes sind auch bisher den Psychologen im Allgemeinen bekannt gewesen, aber nur in sehr unbestimmter Weise, denn die Schlüsse stützten sich auf einzelne Fälle, und im einzelnen Fall kamen stets unberechenbare Zufälligkeiten in's Spiel. Erst die Statistik hat hierein grössere Sicherheit gebracht: indem sie auf eine grosse Zahl von Fällen sich stützt, hat sie die relative Häufigkeit der ursächlichen Momente numerisch festgestellt und sogar bestimmte Beziehungen der Form des Selbstmordes zu seinen ursächlichen Momenten entdeckt. Die Statistik ist aber hier noch weiter gegangen, sie hat uns erst in die entfernteren Ursachen des Selbstmords einen Blick thun lassen, indem sie Aufschluss gab über sein Vorkommen je nach dem Alter, dem Geschlecht, dem nationalen Charakter und der Beschäftigung der Menschen, je nach dem Klima, der Witterung, der Jahreszeit und vielen andern äussern Momenten. — Ebenso hat man in Bezug auf die Zuneigung der Geschlechter wohl früher schon beobachtet, dass zuweilen der Jüngling für eine betagtere Geliebte schwärmt, und dass umgekehrt der gereiftere Mann nicht selten an dem halben Kind sein Gefallen findet. Aber die Statistik hat erst erwiesen, dass auch die Liebe psychologischen Gesetzen folgt, und dass die erwähnten Thatsachen keine auffallenden Zufälligkeiten sind, sondern dass in ihnen das Gesetz für die Zuneigung der Geschlechter je nach ihrem Alter gelegen ist.

Es liessen sich diese Beispiele leicht noch vermehren. Man kann ohne Uebertreibung sagen, dass aus den statistischen Ermittelungen sich mehr Psychologie lernen lässt als aus allen Philosophen, den Aristoteles ausgenommen. Freilich sind die statistischen Thatsachen zunächst nur von Wichtigkeit für die praktiche Psychologie, nicht für die Theorie der Seelenerscheinungen. Aber die praktische Psychologie bildet das Fundament, von dem wir ausgehen müssen. Wenn wir auch aus der Statistik nur erfahren, durch welche Momente die wichtigsten Lebensschiksale des Menschen bestimmt werden, so ist dies schon von grosser Wichtigkeit, weil hier zum ersten Mal unsere Erfahrungen eine wissenschaftliche Sicherheit haben. Erst die Statistik hat aus den Thatsachen der alltäg-

lichen Beobachtung ein für die Psychologie nutzbares und wichtiges Material geschaffen, dessen Bedeutung wir bis jetzt noch kaum zu schätzen vermögen, weil eben die bisherigen Beobachtungen der praktischen Psychologie, die sich immer an das einzelne Individuum halten, so vag und unbestimmt blieben, dass sich damit nicht viel anfangen liess. Das Wenige aber, was aus denselben geschlossen werden konnte, ist schon seit so langer Zeit in das allgemeine Bewusstsein eingegangen, dass man seinen Einfluss auf die Bildung unserer Grundanschauungen gar nicht mehr beurtheilen kann.

Das einzige Hülfsmittel, was bisher zur Beobachtung des einzelnen Individuums noch herbeigezogen wurde, war das Studium der Geschichte. Aber auch diese gab der Untersuchung keine grössere Sicherheit. Denn auch in die Geschichte greift als bestimmendes Moment ein die unbestimmbare Freiheit des Einzelnen, und was bisher die Geschichte vorwiegend in den Kreis ihrer Betrachtungen gezogen hat ist eben der Einfluss des einzelnen hervorragenden Individuums auf den Lauf des Geschehens. Ganz anders ist es, wenn wir, wie dies bei der Herbeiziehung der Statistik geschieht, die Naturgeschichte der Menschheit zum Hülfsmittel der psychologischen Beobachtung nehmen.*) Die Menschheit oder einzelne Völkerkomplexe als Ganze führen ein naturgeschichtliches Dasein, welches in allen seinen Erscheinungen von dem Zustand der gesammten Gesellschaft abhängig ist. Ueberall, wo das Material der Beobachtungen ausreicht, da macht hier das Gesetz der grossen Zahl sich geltend, d. h. einzelne Abweichungen, die wir dem Zufall oder der individuellen Willkür zuschreiben, heben sich auf, und das naturgeschichtliche Gesetz findet seinen vollkommen klaren Ausdruck. Der Statistiker, indem er eine möglichst grosse Zahl von Fällen zusammen sucht, verfährt genau so wie der naturwissenschaftliche Beobachter, der durch

*) Es scheint mir wenig angemessen zu sein, wenn man den Unterschied zwischen Naturgeschichte und Geschichte in der Weise verwischt, wie dies neuerdings von H. Th. Buckle geschehen ist. (Geschichte der Civilisation in England, Bd. I. Leipzig. 1860.) Die Idee, die Buckle vorschwebt, ist eine Naturgeschichte der Menschheit, zu einer solchen hat er manche fruchtbringende Idee und vieles schätzbare Material geliefert, aber diese Naturgeschichte wird niemals die Geschichte verdrängen. Der ganze Irrthum der Buckle'schen Anschauung ruht darin, dass er diese Grenze zwischen Geschichte und Naturgeschichte nicht zu ziehen weiss. Die Geschichte wird wohl kaum eine von derjenigen wesentlich verschiedene Bahn einschlagen können, die sie heute befolgt; die Naturgeschichte der Menschheit ist aber eine ganz neue Wissenschaft, die nicht nur an sich von hohem Interesse, sondern auch als wichtigste Hülfswissenschaft der Geschichte von grosser Bedeutung ist.

Häufung seiner Beobachtungen oder Versuche den Ergebnissen erst die genügende Sicherheit giebt, und hierin ist die statistische Methode nahe verwandt dem zweiten Hülfsmittel, das wir in den psychologischen Untersuchungen für nothwendig halten.

Dieses zweite Hülfsmittel besteht in der ausgedehnten Anwendung des Experiments. Die Wichtigkeit, welche das Experiment für die Psychologie noch haben wird, lässt sich kaum schon jetzt übersehen. Wir besitzen zwar in physiologischen Untersuchungen bereits manche bemerkenswerthe Anfänge, aber als zusammenhängende Wissenschaft harrt die experimentelle Psychologie noch ihrer Begründung. Jene Anfänge beziehen sich vorzugsweise auf das Grenzgebiet, wo Physiologie und Psychologie sich berühren, auf das Gebiet der Empfindung und Wahrnehmung. Man ist häufig der Ansicht gewesen, gerade im Gebiet der Empfindung und Wahrnehmung sei die Anwendung der experimentellen Methode noch möglich, weil eben hier physiologische Momente immer mit in's Spiel kommen, dagegen sei es ein vergeblicher Versuch, auch in das Bereich der höheren Seelenthätigkeiten auf experimentellem Wege vordringen zu wollen. Sicherlich ist dies ein Vorurtheil. Sobald man einmal die Seele als ein Naturphänomen und die Seelenlehre als eine Naturwissenschaft auffasst, muss auch die experimentelle Methode auf diese Wissenschaft ihre volle Anwendung finden können. In der That besitzen wir auch schon experimentelle Untersuchungen, die von dem psycho-physischen Gebiete sich entfernen und ein rein psychisches Geschehen, so weit es überhaupt ein solches giebt, zum Gegenstand haben.

In der letzten Abhandlung dieser Beiträge ist mehrfach Bezug genommen auf die von den Astronomen beobachtete Thatsache der persönlichen Differenz, die nur daraus erklärt werden kann, dass der Verlauf des Vorstellens und Denkens an ein bestimmtes zeitliches Mass gebunden ist. Ich habe neuerdings versucht dieses zeitliche Mass durch das Experiment genauer festzustellen. Die astronomischen Beobachtungen sind hierzu nicht geeignet, da durch sie immer nur vergleichende Bestimmungen gewonnen werden, und da überdies in ihnen schon eine grössere Komplikation der psychologischen Momente vorhanden ist. Ich habe daher zunächst für den einfachsten Fall, wo immer nur zwei differente Vorstellungen sich folgen, die Geschwindigkeit des Vorstellungsverlaufes zu bestimmen gesucht. Ich liess ein Pendel, das an einem bestimmten Punkt seines Weges an einen Hebel anschlug, vor einer Kreisskala schwingen. Es konnte dann genau

verglichen werden der wahre Ort des Pendels im Moment wo es den Schall erzeugte mit dem Ort, an dem es scheinbar sich befand im Moment wo der Schall gehört wurde. Es ergab sich dabei eine konstante Skalendifferenz, aus dieser und aus der Schwingungsdauer konnte die Zeit, welche zwischen Gehörs- und Gesichtsvorstellung vergeht, berechnet werden. Diese Zeit ist im Mittel zu $^1/_8$ Sekunde gefunden worden, und zwar war diese Differenz von $^1/_8$ Sekunde bald positiv bald negativ, d. h. entweder konnte der Beobachter zuerst sehen und dann hören oder zuerst hören und dann sehen.

Ich glaube diese Untersuchung über die Geschwindigkeit des Vorstellens eine rein psychologische nennen zu dürfen, obgleich Sinneserregungen in derselben zur Anwendung kommen, denn die Sinneserregungen sind hier keineswegs das Wesentliche, sie sind nur als experimentelle Hülfsmittel benützt, und es ist nicht zu bezweifeln, dass das von den äussern Erregungen vollständig unabhängige Vorstellen und Denken nach denselben Gesetzen und in demselben zeitlichen Masse erfolgt. Die entgegengesetzte Annahme würde in der That eine solche Unwahrscheinlichkeit haben, dass es nicht nöthig ist spezieller auf sie einzugehen: sie würde ein doppeltes Bewusstsein voraussetzen, indem sie behauptete, dass das Bewusstsein für die reproducirten Vorstellungen etwas ganz anderes wäre als das Bewusstsein für diejenigen Vorstellungen, die direkt durch äussere Eindrücke angeregt werden.

Durch die angeführten Messungen ist es nicht bloss möglich gewesen, eine bestimmte psychische Konstante festzustellen, die bisher vollkommen unbekannt war, sondern es ergeben sich aus denselben auch gewisse allgemeinere Folgerungen über die Natur des Bewusstseins, die mir sehr beachtenswerth scheinen. Es ist hierdurch erst zu vollständiger Evidenz gebracht das psychologische Gesetz der Einheit der Vorstellung, das schon nach den Beobachtungen der Astronomen sehr wahrscheinlich war, aber wegen der in diesen stattfindenden Complikation des Sehens und Hörens mit einer dritten Thätigkeit, dem Zählen der Pendelschläge, vielleicht noch nicht die genügende Sicherheit hatte. Viele Thatsachen der fünften Abhandlung dieser Beiträge weisen schon auf jenes Gesetz hin, insbesondere aber empfängt durch dasselbe die in der sechsten Abhandlung gegebene Kritik der Herbart'schen Psychologie und die dort aufgestellte Theorie des Gemeingefühls ihre wesentliche Stütze.

Wenn wir uns sonach zu dem Ausspruch berechtigt glauben, dass das Experiment auch im rein psychologischen Gebiet

seine Anwendung finden könne (obgleich auch hier allerdings die Sinneserregungen als Untersuchungshülfsmittel wohl niemals zu entbehren sind), so muss doch zugestanden werden, dass vorerst die sinnliche Seite des Seelenlebens der experimentellen Untersuchung die weiteste Aussicht gewährt. Hier ist daher zunächst der Anfang zu machen, ein weiteres Vordringen ergiebt sich dann im Lauf des Untersuchens von selber, denn die psychischen Gebiete sind nicht so scharf abgegrenzt, dass nicht ein kontinuirlicher Uebergang aus dem einen in das andere sich fände.

Es wäre ein fundamentaler Irrthum, wenn man in Bezug auf die experimentelle Erforschung der Empfindungs- und Wahrnehmungsprozesse an der Meinung festhalten wollte, Alles was man auf diesem Wege finde seien nur Gesetze, die Gültigkeit für die Seele besitzen in ihrem Verhalten gegen äussere Sinnesreize, aber in dem von diesen unabhängigen Leben, im reinen Denken könnten vielleicht ganz abweichende Gesetze gültig sein, über die uns die Resultate unserer Experimente nichts aussagten. Obgleich auf das Widersinnige dieser Annahme, insofern sie einen unerklärlichen Zwiespalt in die Seelenerscheinungen hereinbringt, oben schon aufmerksam gemacht wurde, muss ich auf dieselbe hier nochmals zurückkommen, weil sie zugleich eine gänzliche Verkennung der experimentellen Methodik, und der Rolle, die in derselben den Sinnesreizen zukommt, in sich schliesst.

Wenn der Chemiker die Beschaffenheit eines gefundenen Stoffes bestimmen will, so untersucht er, wie derselbe sich verhält verschiedenen andern Stoffen gegenüber, aber was er durch seine Experimente finden will und wirklich findet ist nicht bloss sein Verhalten gegen die andern Stoffe, sondern die chemische Natur des betreffenden Körpers selber. Gerade so wird es in der Psychologie kaum möglich sein, äusserer Einwirkungen beim Experiment zu entrathen, aber doch wäre es ganz falsch zu sagen, es werde durch das Experiment nur das Verhalten jener Einwirkungen zur Seele festgestellt; es wird eben auch festgestellt das Verhalten der Seele zu den äusseren Einwirkungen, und indem man diese variirt, gelangt man zu den Gesetzen, denen das psychische Leben als solches unterworfen ist. Die Sinnesreize sind um es kurz auszudrücken, für uns nichts anderes als experimentelle Hülfsmittel. Indem wir die Sinnesreize mannichfach verändern und dabei fortwährend die psychischen Erscheinungen studiren, bringen wir nur das Prinzip zur Anwendung, in welchem das Wesen der experimentellen Methode besteht, „wir verändern, um mit

Baco zu reden, die Umstände, unter welchen die Erscheinungen auftreten."

In den Grenzgebieten des psychischen und physischen Geschehens ist eine experimentelle Behandlung durch physiologische Untersuchungen längst angebahnt. Vor Allem aber ist hier in neuester Zeit durch die wichtigen Arbeiten G. Th. Fechner's ein mächtiger Anstoss gegeben werden.*) Durch Benützung früherer und neuer eigener Beobachtungen ist es Fechner gelungen das Gesetz, nach welchem die Intensität der Empfindung sich ändert, wenn die Intensität des Reizes um eine gegebene Grösse geändert wird, für alle Sinne nachzuweisen. Dieses Gesetz, welches aussagt, dass die Empfindung nicht im direkten Verhältniss des Reizes wächst, sondern proportional der relativen Zunahme desselben ist von Fechner als psychophysiches Gesetz bezeichnet werden. Diese Bezeichnung sollte andeuten, dass es ein Gesetz sei, welches die Wechselbeziehungen zwischen den äusseren Eindrücken und der Seele bestimme. Dass es in der That nicht ein physisches Gesetz ist, dass dadurch nicht ausgedrückt wird die Art, wie die Erregung der Sinnesnerven durch äussere Eindrücke bestimmt wird, lässt sich leicht nachweisen. Aber auch der Ausdruck psychophysisches Gesetz sagt zu viel, wenn damit das Gesetz auf die Wechselbeziehungen der Psyche mit der Aussenwelt beschränkt werden soll. Schon von Fechner wurde nachgewiesen, dass nicht bloss die intensiven sondern auch die extensiven Empfindungen unter das Gesetz zu subsumiren sind. Was aber Fechner extensive Empfindung nennt ist nichts anderes als die räumliche Wahrnehmung, von der wir zeigen werden, dass sie erst durch psychische Prozesse sich aus der Empfindung hervorbildet. Wenn also für die sogenannte extensive Empfindung dasselbe gilt wie für die intensive, so heisst das nichts anderes, als dass die Abhängigkeit zwischen Wahrnehmung und Empfindung demselben Gesetze folgt wie die Abhängigkeit zwischen Empfindung und Reiz. Es lässt sich leicht im Allgemeinen nachweisen, wenn auch nicht wohl durch exakte Messung bestätigen, dass dasselbe Gesetz auch im Gebiet der höheren psychischen Thätigkeiten seine Gültigkeit behält. Wenn Jeder schon erfahren hat, dass die kleinste Verdriesslichkeit, die ein schon verstimmtes Gemüth nicht bemerkt, eine heitere Stimmung gründlich zu zerstören im Stande ist, so ist dies nichts anderes als ein besonderer Fall

*) G. Th. Fechner, Elemente der Psychophysik. Bd. I. und II. Leipzig. 1860.

dieses Gesetzes. Wir haben nicht ein psychophysisches sondern ein psychisches Gesetz vor uns, welches aussagt, dass wo zwei psychische Funktionen in unmittelbarer Abhängigkeit von einander stehen, die abhängige Funktion immer wächst proportional dem Logarithmus der ursprünglich veränderlichen.

Die folgenden Untersuchungen beschäftigen sich mit einer andern Aufgabe. Es ist in denselben der Versuch gemacht in die Entwickelung der psychischen Prozesse einzudringen, und zwar zunächst in Bezug auf die Genese der Wahrnehmungen aus den Empfindungen. Anfänge zu einer Theorie der Wahrnehmungsprozesse sind wohl da und dort schon vorhanden, doch eine genügende Durchführung auf experimenteller Basis ist noch nirgends versucht worden. Namentlich leiden diese Anfänge an dem Mangel, dass entweder das experimentelle Material für die Theorie nicht hinreichend verwerthet ist, oder dass die theoretischen Spekulationen ohne experimentelle Stütze hingestellt sind. Es ist mein Bestreben gewesen nach beiden Richtungen hin die Lücken so weit es ging auszufüllen: ich habe gesucht lediglich aus Beobachtung und Experiment die Frage nach der Natur der Wahrnehmungsvorgänge zu entscheiden, und nachdem diese Frage entschieden war suchte ich durch die Anwendung der gefundenen Gesetze im besondern Fall möglichst ein Verständniss jeder einzelnen Form der Wahrnehmung und jedes einzelnen Wahrnehmungsaktes zu gewinnen. Ich bin nun keineswegs der Meinung, in dieser Weise auf dem Boden thatsächlicher Begründung die Theorie mit genügender Vollständigkeit aufgebaut zu haben. Eine solche konnte schon desshalb nicht erreicht werden, weil diese Untersuchungen immerhin nicht das ganze Gebiet der Wahrnehmungen umfassen. Aber ich glaube doch, dass die möglich gewordene Begründung wenigstens so weit reicht, um die gegebene Theorie in den wesentlichsten Punkten als gesichert betrachten zu dürfen, und dies scheint mir der gegenwärtig noch herrschenden Verwirrung der Meinungen gegenüber immerhin schon ein Gewinn zu sein.

Das Gesetz, auf welches die Analyse der einzelnen Wahrnehmungsvorgänge immer wieder zurückführt, ist das Gesetz der logischen Entwickelung der Seele. Dieses Gesetz ist desshalb zur Grundlage der Theorie genommen worden, und ich hoffe gezeigt zu haben, dass es nur einer successiven Anwendung dieses durch die Erfahrung gegebenen Gesetzes bedarf, um die Erscheinungen des unbewussten und des bewussten Seelenlebens von der Empfindung an bis zur Vorstellung

in gesetzmässiger Folge abzuleiten. In diesem Sinne kann ich den Grundsatz des Sensualisten Locke mit der Ergänzung, die ihm der Idealist Leibnitz hinzugefügt hat, über die folgenden Untersuchungen schreiben: Nihil est in intellectu quod non fueerit in sensu — nisi intellectus ipse. Aber ich bin weit davon entfernt, mit diesem intellectus eine ganze Welt angeborener Vorstellungen wieder in die Seele hineinzulegen, wie es Leibnitz gethan hat, sondern ich verstehe unter dem intellectus nur jene erfahrungsgemässe Thatsache logischer Entwickelung, in der nicht die Erkenntniss selber, sondern nur die Möglichkeit ihrer Gewinnung gelegen ist.

Wir haben hier zwei Gesetze aufgeführt als gültig für die Gesammtheit der Seelenerscheinungen. Beide Gesetze sind schon bekannt, aber in dieser allgemeinen Bedeutung noch nicht hinreichend gewürdigt. Das erste hat man nur für gültig geglaubt für die Abhängigkeit zwischen Empfindung und Reiz, das zweite ist nur innerhalb der Thatsachen des Bewusstseins (und auch hier meistens nur für die Momente des deduktiven Erkenntnissprozesses) angenommen worden. Wir verdanken die Kenntniss der ausgedehnten Gültigkeit dieser Gesetze wesentlich der experimentellen Methode. Das Experiment in der Psychologie hat, so neu seine Anwendung ist, schon seine Früchte getragen, es hat uns Aussichtspunkte eröffnet, von denen sich mit Bestimmtheit sagen lässt, dass sie auf dem Weg der unmittelbaren Beobachtung niemals wären zu erreichen gewesen. Das Experiment hat es möglich gemacht, den Verlauf der psychischen Erscheinungen einem zeitlichen Masse zu unterwerfen, und es hat uns zwei allgemeine Gesetze kennen gelehrt, die für die Auffassung des psychischen Lebens von der grössten Wichtigkeit sind: ein Gesetz der Abhängigkeit der psychischen Funktionen von einander und ein Gesetz der Entwicklung der psychischen Funktionen aus einander.

Erste Abhandlung.

Ueber den Gefühlssinn, mit besonderer Rücksicht auf dessen räumliche Wahrnehmungen.

1. Die Physiologie des Tastsinnes in geschichtlicher Uebersicht.

Die Physiologie des Tastsinnes, die mit den Untersuchungen E. H. Weber's[1]) beginnt und in ihnen immer ihre vorzüglichste experimentelle Grundlage finden wird, hat durch ihre Resultate und namentlich durch die besondere Deutung, die denselben gegeben wurde, auf die allgemeine Physiologie des Nervensystems einen sehr bedeutenden Einfluss geäussert.

Dieser Einfluss lässt sich in der Nervenphysiologie der letzten Decennien nicht verkennen, er ist bestimmend gewesen für die Construction der Grundanschauungen, auf denen ihr ganzes Gebäude beruht. — Ihren vollendetsten Ausdruck hat die Nervenphysik dieser Zeit in der Darstellung von Joh. Müller erhalten[2]). Die Müller'sche Nervenphysik war eine grosse That, sie machte zuerst diesen Theil der Physiologie aus einer Aufzählung unzusammenhängender Thatsachen zu einer wohlgegliederten, auf einfache Grundsätze errichteten Wissenschaft. Wir werden ihr daher immer, auch wenn wir jetzt schon ihren Standpunkt vielleicht als einen überwundenen bezeichnen dürfen, die höchste Bedeutung in der Geschichte unserer Wissenschaft zugestehn.

[1]) Annotationes anatomicae. Fasc. III. Lips. 1851. — Art. Tastsinn in Wagner's Handwörterb. d. Physiologie, Bd. III. Abth. 2. Braunschweig 1846. — Berichte über die Verhandlungen der kgl. sächs. Ges. der Wissensch. zu Leipzig, Jahrg. 1847, 1848 und 1852.

[2]) Handbuch der Physiologie, Bd. I. Buch 3 und Bd. II. Buch 5.

Eine für diejenigen Sinne, die ihre Wahrnehmungen in räumliche Schemen zu bringen pflegen, besonders wichtige Hypothese, auf die noch heute von manchen Physiologen grosser Werth gelegt wird, ist die, dass der Anordnung der peripherischen Nervenenden eine gleiche oder analoge Anordnung der centralen Nervenenden entspreche, dass also bei jeder Sinneserregung gewissermaassen ein Abbild des empfundenen Objektes im Gehirne geweckt werde.

Diese Hypothese wurde von E. H. Weber zuerst ausgesprochen, und sie bildet die Grundlage der Theorie der Sinneswahrnehmung, wie sie noch jetzt von den meisten Physiologen aufgestellt zu werden pflegt. So sagt J. Müller: „Jeder Punkt, in welchem eine Nervenfaser endet, wird im Sensorium als Raumtheilchen repräsentirt;" und diese Einrichtung ist ihm eine von vornherein mit der Einrichtung des Gehirnes gegebene; die Sinnesnerven werden dadurch zur Raumanschauung geschickt, dass sie ihre eigene Ausbreitung im Raume empfinden, daher die räumliche Wahrnehmung eine um so feinere ist, je mehr der Bau des Sinnesorganes zur Perception sich eignet; desshalb unterscheidet die Netzhaut des Auges so überaus fein räumliche Entfernungen, und „die Durchdringung ganzer Gliedmaassen, ja der meisten Theile unseres Körpers durch Gefühlsnerven macht es dem Gefühlssinn möglich, die Raumausdehnung unseres eigenen Körpers in allen Dimensionen zu unterscheiden, — auch bei dem Conflikt unseres Körpers mit andern kann, wenn der Stoss stark genug ist, die Empfindung bis zu einer gewissen Tiefe unseres Körpers erregt werden, und es entsteht die Empfindung der Contusion in allen Dimensionen des Cubus." — So wird Müller durch die consequente Ausführung jener Grundhypothese schliesslich zu der Annahme geführt, dass nicht nur die Kenntniss der dritten Dimension des Raumes, sondern sogar die Kenntniss des eigenen Leibes auf einer ursprünglichen Anlage beruhe. Ja, die Consequenz geht noch weiter: da alle Sinnesnerven räumlich sich ausbreiten, so muss er nicht nur dem Gefühls[1]- und Gesichtssinne, sondern auch dem Geschmack und Geruch, ein räum-

[1]) Wir möchten mit J. Müller den Ausdruck Gefühlssinn statt des neuerdings öfter gebrauchten Tastsinn im Allgemeinen desshalb vorziehen, weil das Tasten immer eine Aktivität, ein Aufsuchen des wahrzunehmenden Objektes mittelst des in Bewegung gesetzten Sinnesorgans mitbezeichnet. Der Ausdruck Tastsinn ist daher entweder zu eng oder zu weit. In der engsten Bedeutung des Wortes sind nur die Hände Tastorgane, und in seiner weitesten Bedeutung kann jedes Sinneswerkzeug ein Tastwerkzeug sein.

liches Vorstellungsvermögen, wenn auch in geringerem Grade, zuschreiben, nur „dem Gehörsinn geht die Empfindung des Räumlichen fast ganz ab, weil er eben seine eigene Ausbreitung im Raume nicht empfindet.“

Diese Ansichten sind, wenn sie auch nicht immer mit solcher Consequenz durchgeführt werden, doch in ihren wesentlichen Grundzügen noch heute bei den meisten Physiologen zu finden. — E. H. Weber selbst ist zu seiner Hypothese, die den Ausgangspunkt dieser Lehre bildet, nicht auf theoretischem Wege, sondern, wie bereits erwähnt, durch seine Versuche über den Tastsinn geführt worden. Schon im Jahre 1829 machte er die Entdeckung, dass zwei Eindrücke (z. B. von zwei stumpfen Cirkelspitzen) auf der Haut nur dann von einander unterschieden, also deutlich als zwei gefühlt werden, wenn ein bestimmter Zwischenraum zwischen denselben befindlich ist. Die Grösse des Abstandes der Cirkelspitzen, die erforderlich ist, um ihre Eindrücke deutlich von einander zu unterscheiden, ist an den einzelnen Körperstellen äusserst verschieden, sie variirt zwischen $^1/_2$ Par. Lin. (an der Zungenspitze) und 30 Par. Lin. (am Rücken). Diese Entfernung giebt unmittelbar ein Maass ab für die Feinheit des Raumsinns der Haut; die Zungenspitze hat also z. B. einen 60 mal feineren Raumsinn als der Rücken. Bei verschiedenen Individuen ist zwar die Unterscheidungsfähigkeit etwas verschieden, doch bleibt ihr relatives Verhältniss an den verschiedenen Gegenden des Körpers bei dem Einzelnen ziemlich constant. — Eine zweite, übrigens weniger sichere und genaue Methode, die Weber anwandte, um die Feinheit des Raumsinnes zu bestimmen, bestand darin, dass er die Haut eines Menschen berührte und dann von demselben den Ort der Berührung bestimmen liess. Dies ist niemals mit völliger Genauigkeit möglich, und es ist klar, dass in diesem Fall die Grösse des Irrthums der Schärfe des Raumsinns an der betreffenden Stelle umgekehrt proportional ist.

Dies sind im Wesentlichen die Grundzüge der Weber'schen Versuchsreihe über den Raumsinn der Haut. Zwei andere Versuchsreihen beschäftigen sich mit der Messung der Feinheit ihres Unterscheidungsvermögens für Druck- und Temperaturunterschiede. Hier ergab sich das wichtige Resultat, dass, während die Fähigkeit der räumlichen Unterscheidung in den verschiedenen Theilen der Haut so bedeutend variirt, dies mit der Druck- und Temperaturunterscheidung bei weitem nicht in gleichem Grade der Fall ist. Während z. B. die Feinheit des Raumsinns an den Fingern und an der

Mitte des Unterarms sich ungefähr wie 9:1 verhält, verhält sich das Vermögen Gewichte zu unterscheiden an denselben Theilen nahezu wie 7:6. Uebrigens folgen sich die einzelnen Hautstellen in Hinsicht der Ausbildung beider Vermögen ungefähr in derselben Ordnung. Dies ist nicht der Fall rücksichtlich der Wahrnehmung von Temperaturunterschieden. Die Hände z. B., für die Raumunterscheidung die feinsten Tastorgane, sind für Temperatururscheidungen nicht so geschickt wie die Stirn, der Rücken und andere Theile; doch sind die Unterschiede auch hier überall sehr gering, fast an jeder Hautstelle lassen sich Temperatürdifferenzen von $^2/_5$ — $^1/_5$ ^{0} R. noch deutlich erkennen.

Durch diese theils örtliche theils blos graduelle Verschiedenheit in der Fähigkeit der Haut für Unterscheidung von räumlichen Distanzen, Gewichts- und Temperaturunterschieden wurde Weber veranlasst, jede derselben als besonderen Sinn zu bezeichnen, und er unterschied hiernach einen Ortsinn, Drucksinn, und Temperatursinn derselben; hieran knüpfte sich weiterhin die Vermuthung, dass für jeden dieser Sinne besondere Einrichtungen, besondere Sinnesorgane vorhanden seien. Namentlich forderte er solche besondere Organe für den Ortsinn, ob dagegen die nämlichen Einrichtungen, welche die Empfindungen des Drucks möglich machten, auch die Empfindungen von Wärme und Kälte vermittelten oder nicht, schien ihm noch ungewiss.

Ueber die Beschaffenheit dieser Sinnesorgane stellte Weber keine weiteren Vermuthungen auf, nur rücksichtlich der Verknüpfung der für den Ortssinn bestimmten Sinneswerkzeuge mit dem Sensorium glaubte er theils auf seine eigenen Versuche, theils auf die Thatsache des isolirten Verlaufs der einzelnen Nervenfasern den Schluss bauen zu dürfen: „dass, wenn zwei sonst gleiche Eindrücke denselben elementaren Nervenfaden an verschiedenen Orten treffen, nicht zwei Empfindungen entstehen, sondern nur eine;“ hierauf gründet sich weiter die Vermuthung, „dass die Haut in kleine Empfindungskreise getheilt sei, d. h. in kleine Abtheilungen, von welchen jede ihre Empfindlichkeit einem elementaren Nervenfaden verdankt;“ — „durch den langen Gebrauch und die oft wiederholte Bewegung unserer mit Tastsinn begabten Glieder haben wir ein dunkles Bewusstsein von der Zahl und Lage unserer Empfindungskreise bekommen; je mehr Empfindungskreise zwischen den uns berührenden Cirkelspitzen liegen, desto weiter scheinen uns diese Spitzen von einander entfernt zu sein, und umgekehrt.“ (Art. Tastsinn S. 526—528).

Es erhellt aus dem letzteren Satze, dass Weber mit der Annahme der bestimmt abgegrenzten Empfindungskreise und der ihnen entsprechenden Anordnung der centralen Nervenenden im Gehirn die Erklärung noch nicht erschöpft zu haben glaubte, sondern dass er zugleich der Erfahrung einen wichtigen Einfluss zugestand. Empfindungen an und für sich „bringen," wie er sich ausdrückt, „unmittelbar keine räumlichen Verhältnisse zu unserm Bewusstsein, sondern nur mittelbar, durch die Anregung einer Thätigkeit unserer Seele, mittelst deren wir uns die Empfindungen vorstellen und in Zusammenhang bringen, und zu welcher wir durch eine angeborene Seelenanlage oder Seelenkraft angetrieben werden." (A. a. O. S. 486). Dies muss um so mehr hervorgehoben werden, da man diesen Sätzen häufig nicht den gehörigen Werth beigelegt und das Erfahrungsmoment, das Weber hiernach, wenn auch in beschränktem Grade, noch zur Erklärung herbeizog, vollständig übersehen zu haben scheint, indem man die Hypothese der Empfindungskreise und ihrer Repräsentation im Gehirn an und für sich schon für genügend hielt.

Aber auch in der Weise, wie sie von Weber versucht worden war, konnte die Deutung der Thatsachen nicht verfehlen sehr bald Gegner zu erwecken, da in der That mehrere anatomische und physiologische Beobachtungen mit der Annahme abgeschlossener Empfindungskreise nicht in Einklang zu stehen schienen. Die Einwände gegen die Weber'sche Theorie, die zunächst von Kölliker (Mikroskop. Anatomie, Bd. II. S. 39) und Lotze (Med. Psychologie, S. 402) vorgebracht wurden, sind folgende:

1) Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass nirgends an unserm Körper Flächen von 12—30''' Durchmesser von nur einer einzigen Nervenfaser versorgt werden, wie dies nothwendig wäre, wenn man sich eine räumliche Unterscheidung an die Erregung verschiedener Fasern gebunden dächte;

2) Wenn man die Cirkelspitze nach verschiedenen Richtungen auf der Haut herumführt, ohne die Grenzen eines Empfindungskreises zu verlassen, so dürfte nicht, wie dies der Fall ist, die Wahrnehmung einer Bewegung entstehen, sondern Alles müsste sich verhalten, als würde beständig derselbe Punkt erregt;

3) An der Grenze zweier Empfindungskreise müssten schon bei einem unendlich kleinen Abstand die Cirkelspitzen deutlich als zwei unterschieden werden, mit andern Worten: jeder Empfindungskreis wäre von einer schmalen Linie der

schärfsten Unterscheidungsfähigkeit umzogen. Eine solche Linie wäre namentlich z. B. die ganze Mittellinie des Körpers, da sich in beiden Körperhälften alle Nerven symmetrisch verbreiten. — Eine weitere hieran sich anschliessende Folgerung ist diese: beständen abgeschlossene Empfindungskreise, so müsste die Grösse derselben sehr leicht sich bestimmen lassen, wenn man mit einer kleinen Cirkelöffnung die Haut nach verschiedenen Richtungen hin untersuchte, überall, wo plötzlich die verschmolzenen Empfindungen aus einander träten, wäre die Grenze eines Empfindungskreises; nun kann man aber sehr grosse Hautstrecken, ja, bei hinreichend kleiner Entfernung der Cirkelspitzen, die ganze Körperoberfläche in dieser Weise untersuchen, ohne zwei Empfindungen zu erhalten, es wäre also am Ende die ganze Haut nur ein grosser Empfindungskreis.

Diese Einwendungen waren vielleicht zum Theil aus einem Missverständniss der Weber'schen Ansicht hervorgegangen, denn es beruhen dieselben auf der Voraussetzung, diese Ansicht fordere überhaupt nur die Berührung zweier verschiedener Empfindungskreise zur gesonderten Wahrnehmung; nun macht aber Weber schon in seiner Abhandlung über den Tastsinn in Wagner's Handwörterb. S. 527 gelegentlich die Bemerkung: „damit zwei gleichzeitige auf die Haut gemachte Eindrücke örtlich als zwei in einem gewissen Abstand von einander liegende Eindrücke unterschieden werden können, scheint erforderlich zu sein, dass die Eindrücke nicht nur auf zwei verschiedene Empfindungskreise gemacht werden, sondern auch, dass zwischen diesen noch ein Empfindungskreis oder mehrere Empfindungskreise liegen, auf welche kein Eindruck gemacht wird.“ — Da aber dies die einzige Bemerkung ist, die in dieser Hinsicht in der ganzen Abhandlung sich findet, und da dieselbe überdies ohne weitere Begründung hingestellt wurde, so ist jenes Missverständniss wohl erklärlich und verzeihlich, um so mehr als Weber an andern Stellen mehrfach davon spricht, dass immer nur eine Nervenfaser eine einfache Empfindung vermitteln könne, und dass daher ein Empfindungskreis von je einer Primitivfaser versorgt werde.

Durch jene Einwürfe hat sich jedoch Weber, wie es scheint, veranlasst gesehen, in seiner neuesten vortrefflichen Abhandlung über diesen Gegenstand, die sich speciell mit dem Raumsinn der Haut beschäftigt, auf seine frühere gelegentliche Bemerkung mehr Gewicht zu legen. Theils hierdurch theils durch die genauere Beleuchtung mehrerer anderer

Punkte hat nun die Theorie der Empfindungskreise eine wesentlich neue Gestalt erhalten. Sie lässt sich jetzt in folgende Sätze zusammenfassen:

1) Es scheint für gewisse Sinnesorgane nicht gleichgültig zu sein, in welcher Ordnung sich die Nerven an der Peripherie und in den Centralorganen endigen, „und es ist sehr wahrscheinlich, dass der Anordnung der Fäden mancher Nerven an der Peripherie eine gewisse Anordnung derselben im Gehirn entspreche, wenn sie auch nicht dieselbe ist."

2) Das Tastorgan „ist so beschaffen, dass sich auf ihm Gestalten, Entfernungen und Bewegungen der wahrzunehmenden Körper gleichsam abbilden können."

3) Hierzu ist nothwendig, dass die Haut eine Mosaik von Empfindungskreisen (die übrigens an verschiedenen Hautstellen eine verschiedene Grösse und Gestalt haben) sei, „von welchen jeder seine eigenthümliche Empfindlichkeit hat, vermöge welcher zwei Einwirkungen auf zwei Theile dieser Mosaik stets zwei verschiedene Empfindungen hervorbringen, welche nicht in Eine verschmelzen, auch dann, wenn jene Einwirkungen übrigens ganz gleich sind."

4) „Die Verschiedenheit der Empfindungen auf benachbarten Empfindungskreisen ist zwar äusserst gering, aber bis zu einer gewissen Grenze hin wächst sie mit der Zahl der specifisch empfindlichen Empfindungskreise, die zwischen den berührten Theilen der Haut liegen."

5) Die Ursache dieser specifischen Empfindlichkeit der Empfindungskreise liegt nicht in einer verschiedenen Organisation derselben, sondern in ihrem verschiedenen Reichthum an Empfindungsnerven.

6) Während die Feinheit des Raumsinns abhängt von der Zahl der Primitivfasern in einem gegebenen Hautstück, scheint die Schärfe des Druck- und Temperatursinns abhängig zu sein von der Zahl der Nervenenden, gleichgültig ob dieselben aus vielen oder wenigen Primitivfasern durch Theilung hervorgehen; hieraus erklärt es sich, dass der Raumsinn so verschieden, der Druck und Temperatursinn dagegen sehr gleichmässig auf der ganzen Hautfläche ausgebildet ist. Die zahlreichen Nervenenden, welche Aeste von Elementarfäden sind, können also wohl Empfindungen, aber nicht von einander unterscheidbare Empfindungen hervorbringen; hieraus erklärt es sich zugleich, dass jeder Punkt unserer Haut empfindlich ist.

7) Setzen wir, es würden auf zwei benachbarte Empfindungskreise zwei Eindrücke hervorgebracht, so würden diese in Einen

Eindruck zusammenfliessen müssen, denn wir nehmen keinen Zwischenraum zwischen ihnen wahr. Um einen solchen wahrzunehmen, müsste wenigstens ein Empfindungskreis zwischen den berührten Empfindungskreisen liegen, auf dem wir daselbst den Eindruck vermissten, den wir sonst dort zu empfangen und zu empfinden gewohnt wären; denn gerade der Umstand, dass wir auf den Empfindungskreisen, welche zwischen zwei berührten Theilen der Haut liegen und auf denen wir oft Eindrücke empfunden haben, einen Mangel der Empfindung wahrnehmen oder daselbst Empfindungen von anderer Art erhalten, erweckt in uns die Vorstellung von einem Zwischenraume." — „Da nun aber ein Zwischenraum, der nur aus einem einzigen Raumelemente bestände, verschwindend klein sein würde, so kann man annehmen, dass mehrere unberührte Empfindungskreise zwischen den berührten Empfindungskreisen liegen müssen, damit man einen deutlich wahrnehmbaren Zwischenraum zwischen den berührten Theil der Haut wahrnehme."

8) „Die dunkle Erinnerung, wie viel unberührte Empfindungskreise (auf welchen wir schon oft Empfindungen gehabt haben) zwischen den berührten Empfindungskreisen der Haut liegen, erweckt in uns die Vorstellung von einem Zwischenraume, der uns um so grösser zu sein scheint, je mehr unberührte Empfindungskreise von dem Cirkel überspannt werden."

9) Den Ort, an dem wir berührt werden, lernen wir wahrscheinlich erst durch Erfahrung bestimmen, durch Erfahrung lernen wir daher auch erst die Lage unserer Empfindungskreise kennen.

Hervorzuheben ist, dass Weber in dieser Arbeit von aufzufindenden besonderen Sinnesorganen für Raum-, Druck- und Temperatursinn nicht mehr spricht; wesentlich neu in dieser Theorie ist hingegen die Ableitung der Feinheit der letzteren Sinne aus der Zahl der Nervenenden im Gegensatz zur Ableitung der Feinheit des Raumsinnes aus der Zahl der Primitivfasern, die schon in der früheren Theorie enthalten war. Von den übrigen Punkten sind mehrere in dieser wohl schon angedeutet, treten aber so zurück, dass sie leicht übersehen werden konnten, während in der neuen Theorie auf sie ein Hauptgewicht gelegt wird. Dies gilt namentlich von den Punkten 4, 7 und 8, wornach immer ein Ueberspannen mehrerer Empfindungskreise zur Unterscheidung distinkter Empfindungen nothwendig ist, und wornach die Wahrnehmung des Zwischenraums gerade durch das Nichtempfinden ihrer Lage nach bekannter Empfindungskreise möglich wird.

Halten wir nun der so wesentlich geänderten Theorie die gegen sie in ihrer ursprünglichen Gestalt gemachten Einwürfe wieder entgegen, so lässt sich, so sehr wir auch dort ihre Berechtigung anerkennen mussten, nicht leugnen, dass sie wenigstens in der Fassung, in der sie aufgestellt wurden, gegen diese neue Deutung der Thatsachen nicht mehr aufrecht erhalten werden können.

Während in der angegebenen Weise der Physiolog, gestützt auf das Experiment und auf die anatomische Untersuchung, und darum vielleicht geneigt namentlich auf die Resultate der letzteren einen allzugrossen Werth zu legen, seine Hypothese mehr und mehr vervollkommnete, bis aus ihr alle Versuchsergebnisse hinreichend ableitbar zu sein schienen, wurde derselbe Gegenstand ziemlich unabhängig und von ganz andern Gesichtspunkten ausgehend, in mancher Hinsicht freilich nicht minder einseitig, von psychologischer Seite aus bearbeitet. Doch hat erst die neueste Zeit in dieser Richtung einige bemerkenswerthe und eingehendere Untersuchungen gebracht. Waitz[1]) hat vor Allen das Verdienst, unsern Gegenstand einer gründlichen Erörterung unterworfen zu haben. Seine Betrachtungen gehen zunächst aus von der Erklärung der Raumanschauung. Er nimmt diese nicht, wie Weber und die meisten Physiologen, die noch an der Kant'schen Kategorienlehre festhalten, für eine gegebene Disposition unserer Seele, gleichsam für das Schema, in das wir alle Gesichts- und Tastvorstellungen eintragen, sondern er sucht sie herzuleiten aus der Beschaffenheit dieser Sinne selber. Er geht zu diesem Zweck zurück auf die Hypothese der Einheit und Einfachheit der Seele, die er an die Spitze aller seiner Untersuchungen stellt, und aus ihr zieht er folgende Schlüsse: „Werden einem Sinne zwei verschiedene Empfindungen gleichzeitig gegeben, die als Empfindungen wegen der Construction des Organs gesondert bleiben müssen, so können sie zunächst von der Seele nur verworren aufgefasst werden. Diese Verworrenheit muss aber abnehmen oder wenigstens theilweise weichen, wenn die Empfindungen einzeln genommen schon öfters mit Klarheit percipirt worden sind, so dass sich eine qualitativ bestimmte Vorstellung ihnen entsprechend gebildet und hinreichend befestigt hat. Die beiden Empfindungsreize können alsdann in der Perception nicht mehr zusammengehn in ein einziges Quale, das nur dunkel und unbestimmt aufgefasst wurde, da das Quale einer

[1]) Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft. Braunschweig. 1849.

jeden von dem einzelnen Akte der Wahrnehmung bereits unabhängig und zu einem festen Besitz der Seele geworden ist.“ Es werden daher beide Vorstellungen sich fortwährend die Perception streitig machen, „und es wird bald die eine bald die andere allein wirklich in der Seele auftreten. Dieser Streit selbst aber muss erscheinen als nicht entsprechend dem, was durch die sinnliche Empfindung in jedem Augenblick von Neuem gegeben wird.“ — „Dieser Streit kann daher nicht dauern, sondern bedarf nothwendig einer Ausgleichung, da das durch ihn entstehende blos successive Vorstellen der verschiedenen Empfindungen der Art, wie diese selbst gegeben sind, durchaus widerspricht. Die Nöthigung zu dieser Ausgleichung ist die Nöthigung, die beiden Empfindungen als gleichzeitige bestehen zu lassen und als gleichzeitig bestehend aufzufassen, obgleich die Seele als eine reine Einheit dies vollkommen zu leisten nicht im Stande ist. Das Wesen der Seele widerspricht der gleichzeitigen Auffassung eines Mannigfaltigen, und gerade das Unvermögen zu dieser ist es, durch welche sie gezwungen wird, das Mannigfaltige, das ihr zugleich gegeben wird, neben einander zu setzen. Hierin liegt der Ursprung der Raumvorstellungen.“

Hieraus erklärt Waitz zugleich das Projiciren der Sinneswahrnehmungen. „Denn da es der Natur der Seele widerstrebt ein Mannigfaltiges simultan aufzufassen, sie sich aber gleichwohl in jenem Falle genöthigt findet, es neben einander bestehen zu lassen, so kann dasselbe ihr nicht mehr in der Form erscheinen, in welcher dem Wesen der Seele gemäss alle ihre Thätigkeiten und Zustände auftreten müssen, als rein intensive Qualitäten, es kann sich ihr nicht mehr darstellen als in ihr selbst sich ereignend, sondern es muss ihr als von ihr unabhängig gegenüberstehen, als ein Fremdes, Extensives, dessen adäquate (vollkommen genaue) Auffassung sie ihrem rein intensiven Wesen nach nie vollkommen zu Stande zu bringen vermag.“ (A. a. O. §. 18). — Die Bestimmung des Ortes der Empfindung geschieht durch combinirten Gebrauch des Gesichts- und Tastsinns, durch ihn wird immer die Gesichtsvorstellung a mit der Tastvorstellung a' auf's engste verknüpft und auf sie bezogen (identificirende Wahrnehmung von Gesicht und Tastsinn). —

Dass zwei die Haut berührende Körper getrennt unterschieden werden, soll also lediglich darauf beruhen, dass beide fortwährend die Perception sich streitig machen. Eine Unterscheidung verschiedener Eindrücke soll ferner nur stattfinden, erstens wenn die einzelnen Reize verschieden von einander

sind, denn „viele völlig gleichartige Affektionen, wie z. B. bei einem gleichmässigen Druck auf eine empfindende Fläche, müssen in der Vorstellung vollständig verschmelzen; ein räumliches Nebeneinander entsteht erst dann, wenn entweder qualitativ oder graduell verschiedene Empfindungen gleichzeitig an solchen Stellen des Leibes auftreten, die (durch andere Sinne, namentlich durch das Auge, beim Blinden durch den Muskelsinn) als verschiedene schon bekannt sind;“ (§ 27.) zweitens bedingt die Grenze der Unterscheidungsfähigkeit des Sinnesorgans eine Einschränkung. — Ueber den Grund, warum es eine solche Grenze der Unterscheidungsfähigkeit giebt, warum die zwei Cirkelspitzen als zwei nur bei einer für jede Hautstelle bestimmten Entfernung unterschieden werden — was für uns am meisten von Interesse wäre — darüber hat Waitz nichts bemerkt. Ueberdies müssen wir hier sogleich darauf aufmerksam machen, dass die Behauptung, gleichartige Eindrücke, die verschiedene Hautstellen treffen, müssten in der Perception verschmelzen, offenbar durch den Versuch widerlegt wird: wenn wir die zwei Cirkelspitzen noch so gleichmässig aufsetzen, so gelingt uns ihre räumliche Unterscheidung um nichts schlechter, als wenn wir die eine stärker, die andere schwächer an die Haut andrücken.

Von einem ganz andern Gesichtspunkte geht George[1]) aus, den wir hier weniger desshalb anführen, weil er in das Studium der einzelnen Sinne tiefer eingegangen wäre, als desshalb, weil er einige für die Entstehung der Raumanschauung und die Objektivirung der Sinneswahrnehmungen im Allgemeinen sehr wichtige und zum Theil auch richtige Bemerkungen macht. Ihm ist die eigene Bewegung die Quelle des ganzen objektiven Bewusstseins. So giebt uns z. B. die Haut als Sinn überall nur dasselbe an, „die allgemeine Empfindung in ihren bekannten Modifikationen und die der Wärme und Kälte, das Solide aber als die Grundlage des Gegenständlichen empfinden wir nicht, sondern wir werden uns dessen bewusst als Widerstand gegen unsere eigene Bewegung. Wir strecken die Hand aus und finden eine Schranke, welche die weitere Bewegung hemmt, das nöthigt uns einen festen Gegenstand vorauszusetzen; giebt dann die Masse einem grösseren Drucke nach, so erscheint sie weich, können wir ohne bedeutenden Widerstand in ihr herumfahren, so ist sie flüssig,“ u. s. w. (A. a. O. S. 235). Lediglich diese Verbindung der Empfindung mit der Bewegung ist die Quelle des objektiven Bewusstseins, und allein dieser

[1]) Lehrbuch der Psychologie. Berlin. 1854. — Die fünf Sinne. Berlin. 1846

Verbindung verdanken der Tastsinn und das Auge ihre besondere Eigenthümlichkeit, „und andere Sinne können etwas Aehnliches leisten, wenn ihre Organe zur Bewegung vorzugsweise eingerichtet sind," wie dies z. B. mit den die Geruchsorgane enthaltenden Fühlern gewisser Insekten zweifelsohne der Fall ist. „Die Vorstellung von einer Aussenwelt wird uns erst gegeben durch die Unterscheidung eines örtlichen Aussereinander, und diese kann uns die Empfindung auf keine Weise geben, die es nur mit momentanen zeitlich wechselnden Gefühlszuständen zu thun hat," sondern dies geschieht allein durch die Bewegung und die auf sie sich gründende Reflexion; hierbei bildet das bewusste Subjekt den Ausgangspunkt, das sich selbst unterscheidet „als einen wandelnden Punkt," und das, indem es sich eines Gegenstandes bewusst wird, denselben an einen bestimmten, auf sich bezogenen Ort versetzt. Das Bewusstsein selbst ist also zunächst nichts Anderes, als die Feststellung örtlicher Verhältnisse und Beziehungen.

Im Wesentlichen dasselbe ist es, wenn Fortlage[1]) die Raumanschauung als hervorgegangen aus dem Triebe und das Bewusstsein der Körperlichkeit ausser uns aus einer „Triebhemmung" herleitet; nur ist hier der in der Bewegung sich äussernde Trieb, als der vermeintlich elementarste Seelenprocess, statt der Bewegung selber gesetzt.

Das grösste Verdienst um die Analyse der Sinneswahrnehmungen hat sich von psychologischer Seite Lotze erworben[2]). Von der eigentlichen Erklärung der Raumanschauung sieht Lotze ganz ab. Er sagt: „Für alle unsere physiologischen Betrachtungen reicht die Vorstellung hin, dass die Raumanschauung ein der Natur der Seele ursprünglich und a priori angehöriges Besitzthum sei, das durch äussere Eindrücke nicht erzeugt, sondern nur zu bestimmten Anwendungen provocirt wird." Er beschränkt sich hiernach darauf, die Art und Weise klar zu machen, auf welche jene Anwendungen ihrer ursprünglichen Fähigkeit in der Seele geweckt werden. Hier verwahrt er sich zunächst gegen die Auffassungsweise, als ob die regelmässige räumliche Lage der einzelnen afficirten Nervenpunkte schon die Nothwendigkeit einschliesse, dass die Seele auch in ihren Empfindungen die entsprechende Form räumlicher Association wiederhole. Alle Empfindungen werden der Seele nur als eine Summe intensiver Erregungen

[1]) Lehrb. der Psychologie. Leipzig. 1855. Bd. I.

[2]) Vgl. namentlich dessen medicinische Psychologie. 2. Buch. Cap. 1 u. 4.

überliefert, die keine Andeutung einer räumlichen Ausdehnung oder Lage enthält. „Sollen wir daher eine Anschauung der wirklichen Lage äusserer Objecte gewinnen, so kann es nicht auf dem Wege der Auffassung, sondern auf dem der Wiedererzeugung der Räumlichkeit sein." Wenn also zwei benachbarte Objectpunkte durch zwei Nervenerregungen, die sie veranlassen, zur Wahrnehmung gelangen, so ist damit das Bewusstsein ihres räumlichen Nebeneinander noch keineswegs gegeben, und Lotze stellt die Hypothese auf, dass dieses erst durch einen dritten Nervenprocess geschehe, den er mit dem Namen des „Lokalzeichens" belegt, er bezeichnet dieses demnach „als einen physischen Nervenprocess überhaupt, der sich constant für jede Stelle des Nervensystems mit jenem veränderlichen Nervenprocess (der die rein intensive Erregung vermittelt) associirt." Damit dass die einzelnen Lokalzeichen verschieden sind, ist jedoch erst das räumliche Auseinandertreten, noch nicht die Ordnung, die relative Lage der Empfindungen gegeben. Diese erklärt sich nach Lotze erst, wenn man weiterhin die Lokalzeichen als Glieder einer geordneten Reihe betrachtet. — Was die Natur der Lokalzeichen betrifft, so können dieselben entweder bestehen aus einem System von Mitempfindungen, die jeder Stelle eigen sind, oder aus einem System von Bewegungen, die durch den Eintritt des Reizes entweder hervorgebracht, oder zu denen mindestens eine Tendenz entwickelt würde, und die ähnlich den Reflexbewegungen zu denken wären. Das letztere System hält Lotze für viel vollkommner und giebt ihm desshalb den Vorzug, er sucht auch daraus die Entstehung des Sehfeldes zu erklären. Bei der speciellen Betrachtung des Tastsinns bleibt er aber dieser ursprünglichen Hypothese nicht treu, sondern er zieht hier jenes System von Mitempfindungen herbei. Er glaubt hier alle Erfahrungen befriedigend nach dem Satze deuten zu können, „dass zwei Empfindungen um so deutlicher geschieden werden, je differenter, um so undeutlicher, je identischer ihr qualitativer Inhalt sammt den Lokalgefühlen ist, die sich an ihn knüpfen." Diese Lokalgefühle erklärt er nun hauptsächlich aus der Verbreitung der Reizung auf benachbarte Theile und aus der besonderen Färbung, welche diese der Empfindung geben, indem er ausserdem übrigens die Wahrscheinlichkeit anerkennt, dass in der Struktur der Haut selbst, namentlich vielleicht in der verschiedenen Anzahl der Tastorgane, Motive für ein Auseinanderhalten gleicher Eindrücke liegen können. Die Weber'schen Tastversuche sind darnach folgendermaassen zu deuten: „Werden zwei nahe-

liegende Hautpunkte zugleich gereizt, so fallen die Irradiationskreise ihrer Wirkungen grossentheils zusammen und die Möglichkeit, beide Empfindungen zu scheiden, beruht nur noch auf dem Theile ihrer Nebenwirkungen, den jeder für sich ausübt. Auf Hautstrecken, deren Sruktur in grösserer Ausdehnung sehr gleichförmig ist, wie dies auf dem Arme, dem Beine, der Brust, dem Rücken der Fall ist, wird man die Cirkelspitzen weit entfernen müssen, um zwei Punkte zu finden, deren Umgebung hinlänglich different ist, um ihnen die zur Unterscheidung nöthige Verschiedenheit der Nebenempfindungen zu verschaffen Tastende Glieder (z. B. die Finger, auch die Lippen) sind daher überall so gebaut, dass ihre einzelnen Hautstellen differente Lagen haben."

Die von Lotze aufgestellten Grundsätze hat Meissner[1]) weiter auszuführen und mit den Ergebnissen der physiologischen und anatomischen Untersuchung in Einklang zu bringen versucht. Den Ausgangspunkt seiner Arbeit bildete die Entdeckung der sogenannten Tastkörperchen, und es ist daher in derselben das Bestreben unverkennbar, diesen Organen ihre Bedeutung als wirkliche Tastorgane zu sichern. — Da nun diese Körperchen nur an der Hand und am Fusse sich finden und doch alle übrigen Hauttheile gleichfalls Empfindungen zu vermitteln vermögen, so wird Meissner hierdurch veranlasst, die einfache Tastempfindung als eine von dem Druckgefühl völlig verschiedene Empfindung hinzustellen, als eine besondere Sinnesempfindung, die desshalb auch besonderer Sinnesorgane, als welche eben die Tastkörperchen betrachtet werden, bedarf. Diese einfache Tastempfindung soll sich nun dadurch characterisiren, dass dabei „nur der Körper als ein ausser uns befindliches Object wahrgenommen wird, ohne jede Druckwahrnehmung." Hiervon sollen sich nun Druck- und Temperaturwahrnehmungen, die in vielen Fällen allerdings mit Tastempfindungen verbunden sind und neben diesen herlaufen, dadurch unterscheiden, dass der Inhalt jener „nicht ein Object ist, nicht der veranlassende Reiz selbst, sondern ein Zustand, welchen der veranlassende Reiz in den Theilen der Haut, auf welche er wirkt, hervorbringt." — Da nun ferner Lotze den vollkommen richtigen (übrigens nicht neuen) psychologischen Satz aufgestellt hat, dass die Empfindungen an und für sich stets als fertige Erscheinungen vor unserm Bewusstsein stehen und als solche

[1]) Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut. Leipzig. 1852. — Ztschr. für rat. Med. N. F. Bd. 4. S. 260.

über die sie veranlassenden physischen Vorgänge in der Aussenwelt oder in unserm Nervensystem nichts aussagen, so schliesst Meissner weiter, die Wahrnehmungen des Druckes und der Temperatur seien streng genommen gar keine Empfindungen, sondern Gefühle, „sofern sie sich nicht direct und unmittelbar auf ein Object beziehen, sondern auf einen Zustand des Subjects, unser selbst.“

Es giebt also streng genommen nur Tastempfindungen in der Haut. Druck- und Temperaturempfindungen dagegen machen einen Theil des Gemeingefühls aus und sind daher, in grösserem oder geringerem Grade, immer vorhanden. Während sie also „immer nur ein Plus oder Minus sind, welches an die Stelle eines der Art nach gleichen immer bestehenden Zustandes tritt, setzen die Tastempfindungen, wie alle Sinnesempfindungen, nicht einen solchen bestehenden nur gradweise von ihnen unterschiedenen Zustand voraus; sie sind im Verhältniss zu den beiden Gefühlsarten nicht etwas Relatives, sondern etwas Absolutes; sie sind nicht ein Plus oder Minus, sondern jedes Mal, wenn sie auftreten, etwas Neues, welches an die Stelle von Nichts tritt. — Die einfache Tastempfindung hat immer ein und denselben Inhalt, hat nie Abstufungen; sie kann die manchfachsten Verschiedenheiten nur erlangen durch die sie zu einer complicirten Empfindung ergänzenden Functionen.“ Druck- und Temperaturreize gehören dagegen, so lange sie sich innerhalb bestimmter Grade halten, nur zu den integrirenden Lebensreizen. Da nun diese letzteren zum Zustandekommen aller Functionen und somit auch der Sinnesfunctionen nothwendig sind, so wird weiter gefolgert, „dass Tastempfindungen zu gleicher Zeit mit Druck- und Temperaturgefühlen vermittelt werden können, so lange sich die diese Gefühle veranlassenden Zustände in den Gränzen halten, innerhalb welcher sie noch die Rolle integrirender Reize haben, noch das Gefühl des Wohlbehagens bedingen, nicht solche Veränderungen der Theile zur Folge haben, dass entweder die Sinnesreize nicht mehr zu den erregbaren Nervenenden durchzudringen vermögen, oder diese selbst nicht mehr im Stande sind die entsprechenden Reize aufzunehmen und fortzuleiten.“

Da Druck- und Temperaturgefühle keine eigentlichen Sinnesempfindungen sind, so bedürfen dieselben natürlich auch keiner besonderen Sinnesorgane; die Sinnesorgane, die in der Haut sich finden, die Tastkörperchen, dienen also lediglich dem Tastsinn. Ueber die Schwierigkeit, welche die Annahme, dass der Tastsinn nur an den Händen und Füssen, als den

allein mit Tastkörperchen versehenen Theilen, vorhanden sei, mit sich führt, geht Meissner mit der Bemerkung hinweg, es liege auf der Hand und werde leicht zugegeben, „dass das Tasten mit den Fingern nicht nur ein feineres, sondern überhaupt etwas Anderes sei, als an andern Körpertheilen;“ und der hier ausser der Feinheit der Ortsempfindung stattfindende Unterschied könne in nichts Anderem liegen, „als in der objectiven Wahrnehmung des berührten Gegenstandes unmittelbar als Inhalt der einfachen Tastempfindung, welche nur an der Hand und am Fuss stattfindet und an den übrigen Körpertheilen einigermaassen ersetzt werden kann durch die sich mit andern Gefühlen verbindende erfahrungsgemässe Vorstellung.“

Schliesslich erörtert Meissner noch die Ortsempfindung, d. h. die Wahrnehmung des Ortes wo ein Reiz stattfindet. Diese ist nicht eine besondere Empfindungsart, die wie die Tast-, Druck- und Temperaturempfindung für sich allein auftreten kann, sondern sie ist immer an eine der letzteren geknüpft; hieraus folgt, dass ihre Entstehung nicht abhängt von der eigenen Qualität des Reizes, der eine Hautstelle trifft, sondern „wo auch an der Körperoberfläche ein Reiz stattfindet, wird neben dessen qualitativem Inhalt im Allgemeinen der Ort wahrgenommen, wo der Reiz einwirkt.“ Die Genauigkeit der Ortsempfindung ist nach der Art des einwirkenden Reizes verschieden, sie ist am beträchtlichsten bei der einfachen Tastempfindung und sinkt um so mehr, je mehr mit derselben ein Druck sich verbindet. Zur Erklärung der verschiedenen Genauigkeit der Ortsempfindung an verschiedenen Hauttheilen und namentlich des Verschmelzens zweier gleichartiger Reize zu einer Empfindung hält Meissner die Weber'sche Hypothese nicht für vereinbar mit der Erfahrung; er sagt, von Lotze's Betrachtungen ausgehend: „Raum- und Zahlenverhältnisse sind an und für sich keine Reize, sondern sie müssen erst durch besondere Vorrichtungen zu Reizen umgewandelt werden, um auf die Seele wirken zu können, oder, was dasselbe ist, sie müssen zu einer Qualität des Reizes werden, dessen Lokalität sie zur Wahrnehmung bringen sollen.“ So nimmt er mit Lotze in der Haut ein „abgestuftes System von Lokalzeichen“ an und untersucht nun weiter, „ob die anatomischen Verhältnisse, die Unterschiede der Zahlenverhältnisse der sensibeln Punkte an verschiedenen Hautstellen, wie sie sich wenigstens bei Zählungen der Tastkörperchen herausstellen, einen Zusammenhang zu finden gestatten mit dieser Vorstellung vom Zustandekommen der Ortsunterscheidung zweier Eindrücke;“ er sucht also für

den, lediglich aus physiologischen und psychologischen Voraussetzungen abgeleiteten Begriff des Lokalzeichens eine anatomische Grundlage aufzufinden, oder, um die Sache concreter auszudrücken, er ist jetzt der Frage nach dem Zusammenhang der Tastkörperchen mit der Function des Tastens unmittelbar gegenüber getreten. Diese Frage nun, die in der Weber'schen Theorie, deren Wesen ja gerade in der Forderung besonderer Tastorgane bestand, sehr leicht ihre Antwort gefunden hätte, wird weit misslicher gegenüber der Theorie der Lokalzeichen, die nothwendig auf die Negirung jedes directen Zusammenhanges zwischen Ortswahrnehmungen und anatomischer Anordnung der Nervenelemente führt. Meissner gelangt daher auch zu dem hier einzig noch möglichen Schlusse, es könne der Zusammenhang der Tastkörperchen mit der Ortsempfindung „nicht in irgend einer Beziehung der Organe als solcher zu dieser Function bestehen, sondern nur, so fern die Tastkörperchen sensible Punkte sind, vermitteln sie für die einfachen Tastempfindungen, wie die anderen sensibeln Punkte in der übrigen Haut für die Druck- und Temperaturgefühle, die Lokalzeichen." Die Erklärung, wie diese Vermittelung statt hat, baut Meissner auf die Betrachtung, dass jeder Reiz mehrere sensible Punkte, und zwar in verschiedenem Grade treffe, dass mit andern Worten um jeden gereizten Punkt ein Zerstreuungskreis des Reizes sich bilden muss; es ist nun denkbar, „dass vielleicht die Erregung der Punkte, welche dem Zerstreuungs- oder Irradiationskreise eines Reizes angehören, in irgend welcher Weise für die Seele das Lokalzeichen des Reizes ausmacht, dessen eigner qualitativer Inhalt dann durch die Wirkung in gerader Richtung, durch die Erregung der Punkte, welche das Centrum des Irradiationskreises bilden, wahrgenommen würde." Er nimmt nun weiter an, dass zur Bildung eines solchen physiologischen Irradiationskreises immer die Erregung einer bestimmten Zahl sensibler Punkte erforderlich sei; dieses vorausgesetzt wird sich dann „ein direkter Zusammenhang zwischen der Zahl der sensibeln Punkte auf einer Hautstrecke von gegebener Grösse und dem Grade der Feinheit der Gliederung der Lokalzeichen, oder der Zahl verschiedener Lokalzeichen, die dort entstehen können, ergeben. Ist die Erregung von *a* sensiblen Punkten erforderlich, um einen in obigem Sinne als physiologische Einheit functionirenden Irradiationskreis zu bilden, so werden die Irradiationskreise zweier Reize, welche innerhalb einer Hautstrecke erfolgen, wo nur *a* sensible Punkte sind, aus denselben sensibeln Punkten sich zusammensetzen, und somit

ein und dasselbe Lokalzeichen für beide Reize vermitteln, welche also nicht gesondert werden empfunden werden; sie werden erst gesondert wahrgenommen werden, wenn sie so weit von einander gerückt sind, dass ihre Irradiationskreise sich jeder aus *a* verschiedenen Punkten zusammensetzt, oder vielleicht wenigstens einen Theil der sie bildenden sensibeln Punkte verschieden haben." — Macht man schliesslich noch die Annahme, dass die Zahl der sensibeln Punkte, welche einen Zerstreuungskreis bilden, keine fest bestimmte zu sein braucht, so lassen sich die individuellen Verschiedenheiten und der Einfluss der Uebung hinreichend erklären, „es ist eine Ausbildung der Ortsempfindung in der Weise denkbar, dass es durch Uebung dahin gebracht werden kann, dass schon eine geringere Zahl sensibler Punkte, als gewöhnlich, einen als Lokalzeichen functionirenden Zerstreuungskreis bilden können."

Wir sehen somit Meissner auch bei der Erklärung der Ortsunterscheidung ganz auf die Lotze'schen Ideen wieder zurückkommen; auch dieser hatte das Lokalzeichen in einer Irradiation der Empfindung gesucht, aber in einer Irradiation auf umgebende Theile, die Feinheit der Unterscheidungsfähigkeit musste er daher auf die differente Lage der Tastorgane zurückführen; nach Meissner bildet die Irradiation in der Haut selbst das Lokalzeichen, es ist daher wesentlich der differente Bau des Tastorgans, auf das es ihm ankömmt.

Wir haben bisher zwei Reihen von Ansichten kennen gelernt, die eine von physiologischer Seite ausgehend, die, wenn wir auch in jeder wieder verschiedenen Meinungen begegnen, doch dadurch characterisirt sind, dass dort das Bestreben vorwaltet, aus fixen anatomischen Verhältnissen die Erscheinungen abzuleiten, während hier der Versuch gemacht wird, Alles aus den Eigenthümlichkeiten der Seele selbst zu erklären, und dies ist eben der Punkt, worin beide Ansichten sich schroff gegenüberstehen. Durch Lotze war insofern der erste Schritt zu einer Vermittlung geschehen, als er dem aus psychologischen Gründen Geforderten eine anatomisch-physiologische Basis zu verschaffen suchte, so kam er auf sein System der Lokalzeichen; dieses ursprünglich gleichfalls nur als allgemeine Forderung aufgestellte System haben dann Lotze und Meissner, jeder in etwas verschiedener Weise, näher zu definiren und der Letztere namentlich beim Gefühlssinn objectiv darzustellen gesucht. Dies war ein zweiter Schritt der Annäherung. Der dritte und letzte Schritt ist endlich durch J. Czermak geschehen: er tritt uns mit der ausgesprochenen Tendenz einer

totalen Verschmelzung der beiden scheinbar unversöhnlichen Hypothesen in eine entgegen.

Czermak hat schon früher bei Gelegenheit der Untersuchung der Hautnerven des Frosches[1]), deren Resultate mit der Weber'schen Annahme einer in scharf begrenzten, neben einander liegenden Hautbezirken stattfindenden Endigung der einzelnen Nervenfibrillen nicht übereinstimmten, die Idee ausgesprochen, es könnten sich die Weber'schen Versuche aus einer verschiedenen Verbreitungsweite der Nervenfasern in verschiedenen Hautstellen erklären lassen, wenn man, gestützt auf die Thatsache, dass die Verästelungen der Nerven immer geflechtartig in einander übergreifen, die Annahme mache, dass zwei Eindrücke nur dann räumlich unterscheidbar seien, wenn nicht eine einzige Primitivfaser von beiden zugleich getroffen werde; es würden hiernach die einzelnen Empfindungen überall, wo die Nervenverbreitungen gegenseitig sich theilweise decken, gleichfalls interferiren, in eine räumlich ununterscheidbare Empfindung zusammenfallen.

In ihren Grundzügen nimmt demnach Czermak die Weber'sche Hypothese an, auch er sucht den Grund der Raumanschauung in gegebenen anatomischen Einrichtungen, auch nach ihm entspricht jedes Hauttheilchen einem Theil unseres „inneren Raumbildes;“ und diesem Standpunkt ist er auch in seinen späteren ausführlicheren Arbeiten über diesen Gegenstand treu geblieben[2]). — In diesen hat er theils für die Annahme fester Empfindungskreise eine Reihe von Beweisen beizubringen gesucht, theils hat er seine Hypothese über dieselben weiter entwickelt und namentlich gegenüber den Ansichten Lotze's und Meissner's, denen er mehr und mehr sich annähert, auseinandergesetzt.

Für die Annahme fester Empfindungskreise werden folgende experimentelle Beweise angeführt: 1) Kinder haben einen viel feineren Raumsinn als Erwachsene; mit der quadratischen Vergrösserung der Hautoberfläche während des Wachsthums nimmt also die Feinheit des Raumsinns ab; hieraus und aus der Thatsache, dass (nach Harting) die Zahl sämmtlicher Primitivfasern während des Lebens sich nicht ändert, folgt die Existenz von Empfindungsbezirken, deren Grösse zunimmt mit der Vergrösserung der Hautoberfläche.

[1]) Müller's Archiv, 1849. S. 252.

[2]) Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu Wien. Bd. 15. 1855. S. 466 u. Bd. 17. 1855. S. 577. Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen. Bd. 1. S. 183.

Macht man aber die Annahme, dass die Abnahme der Feinheit des Raumsinnes genau proportional sei der Hautausdehnung, und berechnet man hiernach die Grösse, welche die untersuchten Kinder erreichen müssen, um die Feinheitsgrade ihres Raumsinns so weit abzustumpfen, um die von Weber bestimmten Feinheitsgrade Erwachsener zu bekommen, so erhält man allzu grosse Werthe, d. h. die Kinder würden zu riesigen Dimensionen auswachsen müssen. Hieraus folgert Czermak weiter, dass während des Wachsthums eine Vergrösserung der Empfindungskreise „auch in Folge gewisser für verschiedene Regionen verschieden grosser Veränderungen der unbekannten Einrichtungen der Centralorgane (auf denen der Raumsinn beruht) stattfindet.“ Da jedoch hier Weber's Messungen an Erwachsenen bei der Vergleichung zu Grunde gelegt sind und Czermak selber später beträchtlich kleinere Werthe als Weber für die relative Grösse der Empfindungskreise Erwachsener erhielt (wahrscheinlich wegen der geringeren Breite der gebrauchten Cirkelspitzen), so dass er selbst jenen früheren Resultaten nicht mehr volles Vertrauen schenkt (Moleschott's Unters. I. S. 202 u. 203), so werden wir wenigstens den aus der ohnehin etwas misslichen Rechnung gezogenen Schluss — obgleich ihn Czermak auch für „a priori mehr als wahrscheinlich“ hält — unberücksichtigt lassen und uns mit dem bei der bedeutenden Differenz der durch die Messung an Kindern und an Erwachsenen erhaltenen Werthe nicht zu bezweifelnden, an und für sich schon hinreichend interessanten Ergebniss begnügen, dass die Feinheit der Raumunterscheidung während des Wachsthums geringer wird. — 2) Hautstellen, die (durch die Schwangerschaft oder auf künstlichem Wege) eine beträchtliche Ausdehnung erlitten haben, besitzen einen stumpferen Raumsinn als im unausgedehnten Zustande, dabei nimmt die Feinheit des Raumsinns mit der Grösse der Ausdehnung immer mehr ab, aber erstere minder rasch als die letztere. Dies würde, wenn die Berührungsstellen der Cirkelspitzen punktförmig wären, aus der Annahme fester Empfindungskreise nicht ableitbar sein, sondern dann müssten Zunahme der Ausdehnung und Abnahme des Raumsinns einander vollständig proportional sein; Czermak bemerkt aber, dass die Berührung „stets trichterförmig ist und sich auf diese Art gewissermaassen mit einem Zerstreuungskreise umgibt;“ erwägt man nun, dass auch die Haut des Zerstreuungskreises mit ausgedehnt wird, und dieser, wenn er nach der Dehnung die gleiche Hautfläche einnimmt wie zuvor, nothwendig

aus einer kleineren Hautmasse gebildet wird, indem z. B. nach der gleichmässigen Ausdehnung ein kleiner begrenzender Hautring, der vor der Dehnung zu dem Zerstreuungskreise gehörte, in seine Umgebung übergeht, so leuchtet es alsbald ein, dass wenn vor der Dehnung die Cirkelspitzen so weit von einander entfernt waren, um die Wahrnehmung der zwei Eindrücke zu gestatten, d. h. nach Weber um einen oder einige Empfindungskreise, sie nach der Dehnung, wenn man während derselben um ebenso viel, als sie betrug, die Cirkelspitzen von einander entfernt hätte, unbeschadet der Deutlichkeit dieser Wahrnehmung wieder um etwas sich genähert werden dürften, und zwar genau um die Breite jenes Ringes, der aus dem Zerstreuungskreis in seine Umgebung überging.

Auf die zuletzt erwähnten Versuche hat Czermak den Gedanken einer Messung des Durchmessers der Empfindungskreise gegründet, zwar nicht der absoluten Grösse desselben, wohl aber des kleinsten Grenzwerthes, den er möglicher Weise haben kann. Wäre diese Messung tadelfrei, so wäre damit allerdings „unsere Vorstellung wenigstens nach einer Seite hin limitirt, und man könnte sich die Empfindungskreise nicht mehr (wie Weber sich ausdrückt) so klein denken als man will.“ Aber schon die Voraussetzung, auf der die ganze Rechnung beruht, ist eine unrichtige. Czermak nimmt nämlich an, dass der Unterschied der linearen Hautausdehnung und der Vergrösserung der zur räumlichen Unterscheidung nöthigen Cirkeldistanz unmittelbar den Durchmesser jenes Zerstreuungskreises gebe, der um den Berührungspunkt sich bildet, vorausgesetzt dass dieser Zerstreuungskreis in Folge der Hautausdehnung sich nicht erheblich ändert. Dies ist aber — selbst wenn wir die letztere Annahme, die keineswegs sehr wahrscheinlich ist, zulassen — unrichtig, sondern es könnte hier höchstens die Breite jenes Ringes gemessen werden, der in Folge der Dehnung aus dem Zerstreuungskreis in seine Umgebung übergeht, dieser selbst bliebe dabei natürlich seiner Grösse nach völlig unbekannt. Czermak scheint hierauf selbst schon gekommen zu sein, da er in seiner letzten Arbeit (a. a. O. S. 195) bei Gelegenheit seiner unten noch zu erwähnenden neuesten Messungsmethode bemerkt, das alte Weber'sche Verfahren könne hier nicht zum Ziele führen, weil der Durchmesser des Zerstreuungskreises eine unbekannte Grösse sei. — Aber gesetzt sogar diese Grösse wäre eine bekannte, so könnten wir damit doch noch keineswegs die Richtigkeit der weiteren Rechnung zugeben. Es würde nämlich dann diese Messung in einem einzigen Falle nicht nur einen Grenz-

werth, sondern vollkommen genau die absolute Grösse des Durchmessers der Empfindungskreise ergeben, dies dann, wenn der Durchmesser des Zerstreuungskreises und des Empfindungskreises einander gleich wären, ein Zufall, der vielleicht nie vorkömmt. Wäre der Empfindungskreis grösser, so würde man zu kleine, wäre er kleiner, so würde man zu grosse Werthe erhalten, und nähme man endlich die Empfindungskreise unmessbar klein an, so würde der Fehler dieser Methode unmessbar gross; diese Messungen hindern also gar nicht die Empfindungskreise anzunehmen „so klein als man will.“

Später hat Czermak eine zweite Methode zur Bestimmung des Durchmessers der Empfindungskreise angewandt. Es gründet sich dieselbe auf die beiläufige Bemerkung Lotze's, „dass der nach Weber's Verfahren gemessene Raum für ungleichzeitige Eindrücke die Möglichkeit differenter Raumempfindung birgt.“ Er misst nun den Abstand, welcher nöthig ist, „damit auf einer bestimmten Hautstelle zwei ungleichzeitig erfolgende Eindrücke als räumlich gesonderte Empfindungseinheiten wahrgenommen werden.“ Wenn man nun erwägt, „dass die physiologischen Irradiationskreise (die von Lotze sogenannten Lokalzeichen) zweier gleichzeitig erfolgenden Eindrücke so lange zu einem verschmelzen und zusammenfliessen, als noch die einander zugekehrten Grenzen der in Betracht kommenden physikalischen Zerstreuungskreise in einander greifen oder noch in einen und denselben Empfindungskreis fallen, während dieses, als Hinderniss sich geltend machende Verschmelzen der Lokalzeichen bei ungleichzeitig erfolgenden Eindrücken — wenigstens im ersten Augenblick der zweiten Berührung — offenbar ganz hinwegfällt, weil es sich hier um eine Vorstellung (nämlich die der ersten, gleichgiltig ob schon aufgehobenen oder noch fortdauernden, Berührung) und eine Empfindung (nämlich die eben entstehende der zweiten Berührung) und deren Vergleichung handelt,“ — erwägt man dies, so erklärt sich hieraus nicht nur jene auffallende Thatsache, sondern es wird uns zugleich ein Mittel zur directen Messung der Empfindungskreise an die Hand gegeben. Wenn nämlich die Zerstreuungskreise, deren theilweises Ineinandergreifen bei gleichzeitigen Eindrücken diese Messung unmöglich machte, hier nicht mehr diesen störenden Einfluss äussern, so ist es klar, dass die mit den Cirkelspitzen gemachten Eindrücke in ihrer Wirkung als punktförmige betrachtet werden dürfen. Setzt man dann weiter voraus, dass nur ein ganzer Empfindungskreis zwischen den Cirkelspitzen zu liegen brauche, um ihre räumliche Unterscheidung möglich

zu machen, so wird die kleinste Distanz, innerhalb deren zwei ungleichzeitige Eindrücke unterschieden werden, unmittelbar dem Durchmesser eines Empfindungskreises an Grösse gleichkommen [1]. — Hiernach gründet sich auch diese zweite Messungsmethode Czermak's auf zwei keineswegs haltbare Voraussetzungen: erstens auf die Annahme, dass ein zwischen den Eindrücken liegender Empfindungskreis zu ihrer räumlichen Scheidung genüge, eine Annahme, die Weber selbst, wenn er sie je gehabt hat, später hat fallen lassen, und zweitens auf die Voraussetzung, dass ungleichzeitige Eindrücke im strengsten Sinne als punktförmige betrachtet werden dürfen, bei ihnen also die Zerstreuungskreise gar keine Wirkung mehr äussern; in der That aber ist Alles, was über den Einfluss dieser Zerstreuungskreise im einen und ihren Nicht-Einfluss im andern Falle gesagt ist, durchaus hypothetisch.

Noch hat Czermak eine weitere interessante Versuchsreihe, die mit diesen Erörterungen über die Empfindungskreise nicht in Beziehung steht und die eher gegen dieselben einen Grund abgeben dürfte, angestellt, nämlich über die Feinheit des Raumsinns bei Blinden. Den Umstand, dass bei diesen ein allgemein viel schärferer Raumsinn getroffen wird als bei andern Menschen, leitet Czermak selbst aus den Einflüssen der Aufmerksamkeit und Uebung ab, und er räumt damit auch diesen subjectiven Momenten neben den objectiven, im Tastnervensystem und im Hautorgan gelegenen noch ein gewisses Recht ein.

Ausser seinen experimentellen Untersuchungen die nur im Allgemeinen die Hypothese der festen Empfindungskreise befestigen sollen, hat Czermak dieser Hypothese gegenüber den Weber'schen Annahmen eine neue Gestaltung zu geben und sie dabei, wie schon Eingangs bemerkt, namentlich mit der entgegenstehenden Theorie von Lotze und Meissner

[1]) Der zur räumlichen Unterscheidung nöthige Abstand D der Cirkelspitzen richtet sich demnach ganz allgemein nach der Formel

$$D = e + 2\,H,$$

worin e den Durchmesser eines Empfindungskreises und H den Radius des Zerstreuungskreises bezeichnet. Für den Fall ungleichzeitiger Eindrücke soll nun $H = o$ und folglich $D = e$ sein. Hat man so e bestimmt, und bestimmt man weiter noch den Werth von D für gleichzeitige Eindrücke, so findet sich auch der Radius $H = \frac{D - e}{2}$. Czermak vermuthet weiter, dass die Formel $D = e + 2\,H$ streng genommen nur für punktförmige Eindrücke giltig sei, und dass für grössere Berührungsflächen eine andere $D = ne + 2\,H'$ an ihre Stelle trete, „ob übrigens der Coefficient n ein ächter oder ein unächter Bruch sein werde, bleibe dahingestellt.“ (!)

in Einklang zu bringen gesucht. — Seine anfängliche gelegentlich ausgesprochene Annahme einer Interferenz der Nervenfasern aufgebend, stellte er die Hypothese einer Interferenz der Empfindungskreise auf. Diese ursprünglich auf anatomische Beobachtungen sich stützende Hypothese entkleidete er im Fortschritt der Untersuchung mehr und mehr aller derartiger Voraussetzungen, bis er endlich in seiner letzten Mittheilung über diesen Gegenstand die Annahmen scharf begrenzt neben einander liegender und vollkommen interferirender Verbreitungsbezirke der Nervenfibrillen für gleich berechtigt aber für gleich unwesentlich zur Deutung der physiologischen Thatsachen erklärte. — Czermak's Definition der Empfindungskreise stimmt anfänglich noch ziemlich mit der Weber'schen überein, abgesehen von den Annahmen des Letztern rücksichtlich der anatomischen Verbreitung der Nervenfibrillen. Er sagt: „Jede einzelne Nervenfibrille hat ein gewisses Verästelungsgebiet in der Haut, und es liegen diese zahllosen Verästelungsgebiete nicht scharf begrenzt neben einander, wie Weber meint, sondern greifen vielfach in einander ein, d. h. sie decken sich zum Theil, so zwar, dass es fast keine Bezirke in der Haut gibt, welche nur von einer einzigen Primitivfibrille versorgt würden, und dass die Haut nirgends von einem Reize getroffen werden kann, er sei noch so fein und beschränkt, ohne dass hierdurch eine Summe von Nervenfibrillen erregt würde.“ Man kann nun überall in der Haut Bezirke von bestimmter Grösse und Gestalt nachweisen, innerhalb derer eine räumliche Trennung zweier Eindrücke nicht mehr möglich ist, „diese Bezirke nenne ich Empfindungskreise. Jede Nervenfibrille gibt nämlich der durch sie vermittelten Empfindung ein besonderes Lokalzeichen mit, das ein Glied eines stetig abgestuften Systems ist, welches System in directer, vorläufig nicht näher erklärbarer Beziehung steht zu den fixen, correspondirenden, geometrischen Verhältnissen des centralen und des peripherischen Nervensystems. — Je weiter im Allgemeinen die Verästelungsgebiete zweier Fibrillen auseinander liegen, desto differenter sind die ihnen eigenthümlichen Lokalzeichen, während Fibrillen, deren Verästelungsgebiete hart aneinander stossen oder gar ineinander übergreifen, fast gleiche oder nur sehr wenig differente Lokalzeichen vermitteln.“ Ausser von den einzelnen Nervenfibrillen soll jedoch die Verschiedenheit der Lokalzeichen auch noch abhängen von unbekannten Einrichtungen der Centralorgane. Die Lokalzeichen der innerhalb eines Empfindungskreises sich verästelnden Nervenfasern sind um so wenig verschieden, dass die

innerhalb desselben erregten Empfindungen „unaufhaltsam in eine räumlich einheitliche Wahrnehmung zusammenfliessen müssen. Jeder Empfindungskreis repräsentirt daher im Sensorium eine zusammengetzte Raumeinheit — ein Raumelement höherer Ordnung;" gegenüber der einzelnen Fibrille, die mit ihrem Lokalzeichen eine einfache Raumeinheit repräsentirt, steht so der ganze Empfindungskreis, und aus den einfachen Lokalzeichen der einzelnen Nervenfibrillen desselben resultirt ein „Lokalzeichen höherer Ordnung," zu dessen Auffassung allein unser Unterscheidungsvermögen hinreicht. Dieses Lokalzeichen höherer Ordnung entspricht dem von Meissner sogenannten „physiologischen Zerstreuungskreis," mit dem Unterschied, dass dasselbe nicht, wie dieser, abhängig gedacht wird von der Zahl der sensibeln Punkte, sondern von der Stellung, welche die Lokalzeichen in ihrem „stetig abgestuften" Systeme einnehmen.

Man sieht, dass die Hypothese in dieser Gestalt noch sehr auf der Annahme einer Interferenz der Nervenfibrillen aufgebaut ist, und sie ist überdies noch vollständig in den Weber'schen Grundanschauungen befangen, denn, wenn sie auch eine Mehrheit von Nervenfasern zur Bildung eines Empfindungskreises zusammentreten lässt, so ist ihr doch die einfache Raumeinheit, die wir — wenn unsere Unterscheidungsfähigkeit nur fein genug wäre — auch als Glied unseres „inneren Raumbildes" wahrnehmen müssten, immer noch repräsentirt durch die einzelne Nervenfibrille. Es geht aber hieraus klar hervor, dass dieses einfache Lokalzeichen bei der eigentlichen Erklärung gar nicht in Betracht kommt und ohne Schaden für dieselbe weggelassen werden kann, in der Wirklichkeit ist ja jenes sogenannte Lokalzeichen höherer Ordnung die einfachste Raumeinheit, die wir kennen, und jede Unterabtheilung, die man an dieser noch anbringt, ist eine willkürliche, die durch die Beobachtung sich weder beweisen noch widerlegen lässt. Offenbar sind daher Czermak's einfache Raumeinheiten ein Ueberbleibsel seiner früheren Hypothese, das in der neuen noch stehen blieb, obgleich es eigentlich nicht mehr hereinpasst.

Später hat jedoch Czermak seiner Hypothese eine allgemeinere Fassung gegeben, durch die namentlich der Begriff des Empfindungskreises ein wesentlich anderer wird. Hier hält er sich von allen anatomischen Voraussetzungen fern und betrachtet einfach die Haut als ein Mosaik sensibler Punkte; jeder dieser Punkte theilt der Erregung eine eigenthümliche Färbung, ein „Lokalzeichen" mit. Bei jedem Eindruck wird

ein Complex sensibler Punkte erregt, und die einzelnen Lokalzeichen derselben setzen sich zu einem Lokalzeichen höherer Ordnung zusammen. Die Lokalzeichen sind um so differenter, je weiter sie von einander liegen, und innerhalb bestimmter Hautbezirke sind sie so unmerklich verschieden, dass darin keine differente Raumvorstellungen zu Stande kommen können, diese Bezirke sind die Empfindungskreise. Die Anordnung der Empfindungskreise in der Haut muss man sich unter dem Bilde von unendlich vielen Kreisen oder Ellipsen denken, welche sich in allen Richtungen interferiren.

Abgesehen von dem Hauptfortschritt dieser Hypothese, der darin besteht, dass statt der einzelnen Nervenfaser der einzelne sensible Hautpunkt als die Raumeinheit repräsentirend gesetzt ist, ist hier noch dem „Lokalzeichen höherer Ordnung" eine ganz andere Bedeutung beigelegt als früher. Dort war dasselbe das allgemeine Bild, unter dem die feineren, nicht mehr unterscheidbaren Abstufungen aller der Lokalzeichen eines Empfindungskreises sich darstellten; hier ist dasselbe die zusammengefasste Summe der Lokalzeichen sensibler Punkte, die ein Reiz vermöge seiner Ausbreitung trifft; dort war dasselbe nur ein ungenauer Gesammtausdruck für mehrere an Werth nicht viel verschiedene Grössen, hier ist es eine Resultante aus einer Summe gleichzeitig wirksamer Kräfte. Die Gliederung der sogenannten Lokalzeichen wird also hier noch weiter getrieben als früher, denn es wird erstens das Lokalzeichen, das von dem einzelnen erregten Hautpunkte herrührt, zweitens das Lokalzeichen, das durch die Ausbreitung der Erregung bedingt ist und endlich drittens das eigentlich allein der Beobachtung zugängliche Lokalzeichen des Empfindungskreises unterschieden. Eine solche Gliederung ist aber eine durchaus künstliche, namentlich ist die Bedeutung des zweiten Gliedes, das hier Lokalzeichen höherer Ordnung genannt wird, sehr unklar; denn dass keine Berührung im strengsten Sinne punktförmig ist, bedarf an und für sich nicht eines besondern Ausdruckes, und ein solcher wird um so mehr zu vermeiden sein, als ein bestimmter Einfluss der mehr oder minder grossen Ausdehnung der Berührung auf die Wahrnehmung des Orts, wo sie statt hat, der ihn allein rechtfertigen könnte, gar nicht bekannt ist.

2. Die Haut als messendes Sinneswerkzeug.

Die Haut bietet als Sinnesorgan der physiologischen Untersuchung besonders günstige Verhältnisse dar, theils deshalb, weil sie ihrer Lage und Structur nach dem Experiment leicht

und gefahrlos ausgesetzt werden kann, theils deshalb, weil in ihr vermöge ihrer Ausbreitung Alles, was in den übrigen Sinnen auf einen kleinen Raum zusammengedrängt ist, sich weit auseinandergelegt findet. Dies letztere wird namentlich wichtig bei Vergleichung mit demjenigen von den übrigen Sinnesorganen, das gleichfalls einer räumlichen Auffassung fähig ist, mit dem Auge, und es ist in dieser Hinsicht die Untersuchung der Haut ein werthvolles Vorstudium für die viel feineren und schwieriger zugänglichen Verhältnisse des Gesichtssinnes.

Eine nähere Ueberlegung zeigt nun, dass, wenn es sich darum handelt ein Maass aufzustellen für die Feinheit verschiedener Sinne oder eines und desselben Sinnesorganes an verschiedenen Stellen seiner Ausbreitung, nur Gefühls- und Gesichtssinn zu messenden Versuchen geeignet sind, bei allen übrigen Sinnen ist eine Feststellung quantitativer Verhältnisse ihrer Natur nach unmöglich. Beim Geruchs- und Geschmackssinn leuchtet dies von selbst ein; sind wir noch nicht im Stande gewesen, die Objecte dieser Sinne irgend einem Maasse zu unterwerfen, so ist es noch viel weniger möglich mit ihren intensiven Erfolgen, den Geruchs- und Geschmacksperceptionen. Aber auch der Ton, dessen objective Ursache, die Schallwelle, einer Messung zugänglich ist, enthält an und für sich nichts Quantitatives, und es ist erst Sache der Erfahrung und Uebung, das aus dem Object genommene Maass auf die ursprünglich gleichfalls rein intensive Gehörsempfindung zu übertragen.

Selbst Gefühls- und Gesichtssinn lassen ein unmittelbares Maass ihrer Feinheit nur insofern zu, als sie zur Perception räumlicher Verhältnisse geschickt sind. Bei den Empfindungen der Farbe, der Wärme, des Drucks gründet jede quantitative Schätzung sich gleichfalls lediglich auf lang geübte Vergleichungen zwischen den intensiven Sinnesperceptionen und ihren objectiven Ursachen. Dies tritt am deutlichsten hervor bei der Unterscheidung der Farben, denn es lässt sich wohl mit Sicherheit behaupten, dass derjenige, der keine optischen Kenntnisse besitzt, wenn man ihm die Aufgabe stellte, die Farben in eine quantitative Reihe zu ordnen, auf die Reihe des Spectrums zu allerletzt verfallen würde. Aber auch in den Graden der Temperatur und des Drucks können wir zwar mit der Haut Unterschiede unmittelbar wahrnehmen, doch die Schätzung der Grösse dieser Unterschiede wird uns lediglich durch die Erfahrung ermöglicht; hierin liegt zugleich der Grund, warum auf eine richtige quantitative Schätzung das subjective Moment der Uebung vom wichtigsten Einflusse ist,

Im Vergleiche zu diesen Maassschätzungen, die auch dem Erwachsenen erst nach langer Uebung und durch ein vergleichendes Urtheil möglich werden, sind die Raumwahrnehmungen des Auges und der Haut insofern als unmittelbare Sinnesacte zu bezeichnen, als sie ohne irgend einen wenn auch noch so dunkel in's Bewusstsein fallenden psychischen Process zu Stande kommen, so dass wenigstens beim ausgebildeten Menschen mit der Perception der Sinnesempfindungen auch ihre räumliche Ordnung gegeben ist. — Damit soll jedoch keineswegs behauptet werden, dass die Wahrnehmung durch jene Sinnesorgane an und für sich schon eine räumliche und als solche mit der Qualität der Empfindung von vorn herein gegebene sei. Allerdings müssen wir voraussetzen, dass in der Beschaffenheit der Empfindung und des empfindenden Organs schon eine Disposition zur Raumvorstellung liege, denn sonst würde diese überhaupt nicht zu Stande kommen; aber die wirkliche Entstehung der Raumvorstellung ist erst erklärt, wenn es gelingt sie aus jenen disponirenden Verhältnissen, zusammengehalten mit der Entwicklungsgeschichte des Seelenlebens, also aus der ganzen Reihe hier in einander greifender physiologischer und psychologischer Factoren, abzuleiten. Denn gegen die Annahme, dass die Raumanschauung ein der Seele a priori gegebenes Vermögen sei, wird die inductive Forschung schon deshalb sich auflehnen müssen, weil damit an die Stelle jeder Erklärung ein nichts erklärender Ausdruck gesetzt ist, abgesehen davon, dass jene Annahme keine Rechenschaft darüber giebt, warum nicht alle Sinne, sondern nur Gefühls- und Gesichtssinn ihre Vorstellungen in ein räumliches Schema bringen. Der letztere Umstand weist uns eben mit Nothwendigkeit auf eine besondere Disposition dieser Sinne hin, sobald aber diese einmal anerkannt wird, fällt jene ganze Erklärung aus einer a priori'schen Seelenanlage zusammen, wenn man sich nicht darauf beschränken will, in ihr ebenfalls nur eine Disposition zu sehen, ohne die ein Zustandekommen des Processes freilich undenkbar wäre, die aber an und für sich ebenso wenig erklärt als die Disposition des besonderen Sinnesorgans, vollends wenn man beide, den psychologischen und den physiologischen Factor, nicht näher bestimmt.

Auf das hier offenstehende Problem haben wir an diesem Orte nicht näher einzugehen; wir begnügen uns daher mit den obigen Andeutungen, aus denen hervorgeht, dass auch die quantitativen Verhältnisse der Raumanschauung im strengsten Sinne keine unmittelbaren, d. h. mit der Empfindung an

und für sich schon gegebene sind, dass sie aber beim ausgebildeten Menschen, auf den sich, weil er allein der Selbstbeobachtung fähig ist, auch allein diese Untersuchung ihrer Natur nach beziehen kann, deshalb als unmittelbare betrachtet werden können, weil kein in's Bewusstsein fallender psychischer Vorgang zwischen der Wahrnehmung der Empfindung und ihrer Vorstellung in räumlicher Form mehr liegt.

Die Messungen, die wir mit unsern die Raumanschauung vermittelnden Sinnen auszuführen vermögen, zeigen bei beiden die bemerkenswerthe Verschiedenheit, dass das Auge, als das in die Ferne wirkende Sinnesorgan, den Raum nach allen vier Dimensionen ausmisst, während die durch die Haut vermittelten Empfindungen, die nur durch den unmittelbaren Contact der äussern Objecte mit der Hautfläche zu Stande kommen, auch immer nur in eine Fläche verlegt werden. Die Anschauung der dritten Raumesdimension durch den Gesichtssinn ist jedoch, wie sich sogar aus der Erfahrung nachweisen lässt, erst eine mittelbare, aus den Bewegungen der Muskeln des Auges (theils der äussern, die den Augapfel bewegen, theils der innern, die den Accommodationsmechanismus beherrschen) abgeleitete, und die Messungen von Distanzen beruhen hier lediglich auf der Schätzung der die Bewegungen begleitenden Muskelsensationen, also vermittelt durch eine lange Erfahrung und Uebung, und es beruht hierauf die grosse Unsicherheit und Unvollkommenheit aller derartiger Messungen. Ursprünglich sind demnach alle räumlichen Sinnesanschauungen *flächenhafte*, erst allmälig hebt für das Auge aus der Fläche sich die Tiefe hervor, immer tiefer dringt der Sinn in den unendlichen Raum ein, sein Gesichtskreis erweitert sich in dem Maasse, als der Gesichtskreis seiner Erfahrung sich ausdehnt.

Wenn wir daher von einer unmittelbaren Raumanschauung in dem oben erörterten Sinne reden, so kann es sich dabei nur um *Flächenanschauungen* handeln. Die Fähigkeit, die Entfernung räumlicher Punkte, die in einer und derselben Fläche liegen, zu messen, kommt in gleicher Weise dem Gefühls- und Gesichtssinne zu. Die Bestimmung einer Entfernung überhaupt kann aber erst beginnen, sobald diese Entfernung nicht unter eine gewisse Grenze sinkt, die übrigens eine verschiedene ist für die verschiedenen Stellen der äussern Haut oder der Netzhaut, d. h. jedes Sinnesorgan und jeder Theil desselben hat eine *Grenze der schärfsten Unterscheidungsfähigkeit*, und sobald die Entfernungen der Objectpunkte diese Grenze nicht erreichen, fliessen alle von den-

selben erregten Empfindungen nothwendig in eine räumlich untrennbare Wahrnehmung zusammen. So unterscheidet nach E. H. Weber selbst das schärfste Auge mit dem am feinsten empfindenden Theile der Netzhaut Distanzen, die kleiner sind als $^{1}/_{840}$ Par. Linien, nicht mehr; auf der Zungenspitze ist aber schon $^{1}/_{2}'''$, auf der Volarseite des letzten Fingergliedes $1'''$ die Grenze der Unterscheidungsfähigkeit, und auf der Haut des Rückens, des Oberarms und Oberschenkels und des Nackens geben sogar alle Eindrücke, deren Entfernung nicht $30'''$ überschreitet, nur eine Empfindung; der schärfste und der stumpfste Theil unserer raumempfindenden Sinne sind also unter Umständen um nicht weniger als um das 25,200fache verschieden.

Sobald die Objectpunkte, welche die Eindrücke verursachen, über jene Grenze auseinanderrücken, so werden sie deutlich als distinkte Eindrücke wahrgenommen, und es entsteht zugleich die Wahrnehmung eines Zwischenraumes zwischen denselben. Je mehr nun die wirkliche Entfernung der Objectpunkte von einander wächst, um so grösser wird auch im Allgemeinen für unsere Wahrnehmung der sie trennende Zwischenraum, wir benutzen daher unsere Sinnesorgane unmittelbar als messende Werkzeuge, indem wir unmittelbar mit geschehender Wahrnehmung zugleich die Entfernungen aller der räumlichen Punkte bestimmen, die in derjenigen Fläche liegen, welche unser Sinnesorgan im Momente der Wahrnehmung gerade beherrscht. — Diese Fläche ist nun für das Auge eine stets wechselnde; als in die Ferne wirkender Sinn kann es vermittelst seines Accommodationsvermögens rasch nach einander den verschiedensten Entfernungen sich anpassen, soweit diese nur innerhalb der Grenzen des Accommodationsvermögens liegen. Dadurch aber wird es bedingt, dass die Flächenmessung durch das Auge keineswegs eine einfach mit der Wahrnehmung sich vollziehende ist, sondern es tritt hier schon ein weiteres Moment hinzu: bevor die Messung in der Fläche beginnt, wird auf einem schon viel verwickelteren und unsichereren Wege die Entfernung nach der Tiefe des Raumes bestimmt und auf beides wird erst durch ein — wenn auch meistens unbewusst sich vollziehendes — Urtheil die eigentliche Flächenmessung gegründet.

Im Gegensatze hierzu ist die äussere Haut ein Sinnesorgan, vermittelst dessen wir uns niemals die Vorstellung von Entfernungen nach der Tiefe des Raumes verschaffen können; es liegt dies schon darin begründet, dass eine Empfindung mittelst desselben nur beim unmittelbaren Contact des zu empfindenden

Körpers möglich ist. Allerdings kann die Vorstellung der dritten Raumesdimension auch in dem geborenen Blinden geweckt werden, dies geschieht aber nur durch eine lange Reihe von Schlüssen, bei denen die wechselnden Eindrücke des Gefühlssinnes und die Muskelempfindungen des ganzen sich bewegenden Körpers zusammen wirken. Wie der Sehende an seinem Orte verbleibt und die Gegenstände gewissermaassen zu sich herankommen lässt, indem er nach Willkür dem ferneren oder dem näheren das Auge erschliesst, so muss der Blinde gehen und die Gegenstände, die für ihn in unveränderlicher Ruhe bleiben, selber aufsuchen, wenn er die Aussenwelt sich eröffnen will. Freilich schwindet bei einer näheren Betrachtung auch dieser Unterschied, der auf den ersten Blick so bedeutend scheint, sehr, und es stellt sich zwischen unsern beiden die Raumanschauung vermittelnden Sinnen, dem Gesichts- und Gefühlssinn, eine höchst augenfällige Uebereinstimmung her. In der That war ja auch beim Auge die Anschauung nach der Tiefe des Raumes nicht so unmittelbar wie die Flächenanschauung gegeben, sondern sie wurde erst vermittelt durch die den Accommodationsmechanismus beherrschenden Muskelbewegungen; hier wie dort ist es also die Bewegung, die uns die Tiefe des Raumes erschliesst, nur sind es, der Ausbreitung der beiden empfindenden Flächen entsprechend, dort die wenigen Muskeln des Auges, mit denen wir den ganzen unendlichen Raum uns herbeizaubern, hier die grosse der Fortbewegung bestimmte Masse der Körpermuskeln, mit denen wir mühsam ein Stück desselben uns aufsuchen. Der Sehende accommodirt nur sein Auge, der Blinde seinen ganzen Körper den Gegenständen. — Aber trotzdem dass auch dieser Unterschied im Grunde nur ein gradueller ist, so wird er doch im wirklichen Leben von so grosser Bedeutung, dass er eine durchgreifende Scheidung beider Sinne nothwendig macht. Die Muskeln, welche das Auge für Nähe und Ferne adaptiren, sind integrirende Theile dieses Sinnesorgans, ihre Verrichtungen sind daher so unmittelbar an die Function des Sehens selber geknüpft, dass sie zugleich mit dieser mit einer Art mechanischer Nothwendigkeit sich vollziehen und niemals zu bewussten Handlungen werden. Ganz anders verhält es sich mit der äussern Haut. Die Muskeln der Fortbewegung des Körpers stehen zu dieser nur in einer ganz äusserlichen Beziehung, in keiner andern als zu jedem andern Sinne, nur insofern nämlich, als überhaupt die mit dem Ortswechsel des Subjectes wechselnden Eindrücke auf einen Wechsel der Objecte schliessen lassen. Hier gründet sich daher die Unter-

scheidung von Nähe und Ferne erst auf ein aus einer Reihe gewollter und bewusster, langsam vollzogener Bewegungen gestütztes bewusstes Urtheil; der Gefühlssinn selber gewährt aber, ehe ihm jene weiteren Momente, auf die sich ein Urtheil bauen lässt, zu Hülfe kommen, über die Ausbreitung des Raumes nach seiner Tiefe gar keine Vorstellung; in jeder Stellung und Lage, in der sich der Körper befinden mag, bleiben die Eindrücke in ihrer Lage unveränderlich, die Haut vermag nicht wie das Auge die Gegenstände in verschiedene Entfernungen des Raumes zu verlegen, denn für sie ist nichts vorhanden, als was sich mit ihr in Berührung befindet; die einzige Entfernung, die sie wahrnehmen kann, ist die unmittelbarste Nähe. Wir sind demnach berechtigt, die Raumbestimmungen, die wir mittelst unseres Gefühlssinnes ohne Zuhülfenahme irgend welcher Muskelwirkungen machen, als durchweg in einer Fläche liegend zu betrachten.

Wenn wir nun die Entfernung räumlich getrennter Eindrücke, die auf irgend einen Theil unserer Hautfläche stattfinden, zu bestimmen suchen, so ergiebt es sich, dass diese Entfernung selbst für eine und dieselbe Hautstelle keine feste und unveränderliche ist. Neben den bedeutenden Differenzen, die verschiedene Hautstellen in Betreff der Feinheit ihrer räumlichen Unterscheidungsfähigkeit zeigen, laufen geringgradigere Differenzen einher, welche an derselben Hautstelle zu verschiedenen Zeiten gefunden werden; die Fähigkeit der Raumunterscheidung ist nicht für jeden Theil der empfindenden Fläche von constantem Werthe, sondern sie zeigt zu- und abnehmende Schwankungen. Diese Schwankungen sind von zweierlei Art: erstens ist die Grenze der feinsten Unterscheidungsfähigkeit bald eine engere, bald eine weitere, Eindrücke also, die das eine Mal noch deutlich als getrennte wahrgenommen werden, verschmelzen ein anderes Mal, auch wenn ihre Entfernung sich um nichts geändert hat, in einen einzigen; und zweitens ist, wenn ihre Entfernung diese Grenze überschritten hat, die Bestimmung der Grösse des Zwischenraums zwischen den Eindrücken eine veränderliche. Diese schon der oberflächlichen Beobachtung sich aufdrängende Veränderlichkeit bedingt es, dass die Sprache jede unmittelbar mit unsern Sinnen ausgeführte Entfernungsbestimmung nicht Messung, sondern Schätzung benennt. Dieses Wort drückt aus, dass jeder lediglich auf Sinneswahrnehmung gegründeten quantitativen Bestimmung eine Unsicherheit anhaftet. Unsicher ist aber nur das, was für unsere Auffassung in verschiedenen Zeiten einen verschiedenen Werth hat, also veränderlich ist, und die

Grösse der Veränderlichkeit ist das Maass für den Grad der Unsicherheit.

Im strengsten Sinne ist daher jede, auch die exacteste mit objectiven Hülfsmitteln ausgeführte Messung nur eine Schätzung, denn die Resultate jeder Messung sind veränderlich und daher bis zu einem gewissen Grade unsicher, weil bei jeder ein in seiner Unterscheidungsfähigkeit beschränkter und veränderlicher Sinn zu Hülfe gezogen wird. Kein Maassstab ist ganz genau, denn seine Verfertigung beruht in letzter Instanz auf einer Schätzung durch's Auge; und existirte ein vollkommener Maassstab, so würde selbst mit ihm keine genaue Messung möglich sein, denn die Vergleichung zwischen dem Maass und der gemessenen Länge ist schliesslich wieder nur eine Schätzung. Darum kann nicht Jeder mit messenden Werkzeugen exacte Messungen vornehmen, sondern erst eine mühselige Uebung verschafft dem Untersuchenden Sicherheit und seinen Ergebnissen Zutrauen. Messen und Schätzen sind sonach nicht anders als dem Grade nach verschieden, die genaueste Schätzung nennen wir Messung, und die ungenaueste Messung nennen wir Schätzung; die Messung wird aber in dem Maasse genauer und sicherer, als der Sinn zum Zweck derselben sich künstlicher Hülfsmittel bedient, und am ungenauesten wird sie dann, wenn er, dieser ganz entbehrend, sich rein auf sich selber verlässt. Jene Hülfsmittel bieten dem raumbestimmenden Sinne eine Stütze, an der er sich festhält, die je nach ihrer Beschaffenheit das Gefühl der Sicherheit ihm in grösserem oder geringerem Grade verleiht, und ohne die er, wie der Blinde ohne den Stock, nur tastend im Raume herumwankt.

Wenn sonach jeder rein auf Sinneswahrnehmung gestützten Raumbestimmung eine grosse Unsicherheit anhaftet, so hat diese Unsicherheit doch wieder einen sehr verschiedenen Grad beim Auge und bei der Haut. Vergleichen wir mit beiden Sinnen nach früherer Uebereinkunft Distanzen, die in einer und derselben Fläche liegen, so kann das Auge noch Unterschiede wahrnehmen, die dem Gefühlssinne sich ganz und gar entziehen. Zieht man z. B. zwei gerade Linien neben einander, und macht man die eine derselben nur um $^1/_{10}{'''}$ länger als die andere, so kann das Auge noch mit Sicherheit die längere von der kürzeren Linie unterscheiden; setzt man dagegen zwei Zirkel mit verschiedener Entfernung ihrer Spitzen auf eine Hautfläche auf, so muss der Unterschied schon mehrere Linien, ja an manchen Hautstellen 1 Zoll und darüber betragen, wenn die grössere von der geringeren Entfernung deutlich unterschieden werden soll. — Aber noch zeigt diese Vergleichung

ein bemerkenswerthes Ergebniss. Wenn der Unterschied der gezogenen Linien, die man dem Auge zur Vergleichung bietet, unter jene Grenze sinkt, wo er noch deutlich wahrgenommen werden kann, so wird der Befragte meistens mit aller Sicherheit behaupten, die Linien seien genau von gleicher Grösse, nur selten wird er in seinem Urtheil schwanken und bald die eine, bald die andere für die grössere ausgeben. Ganz anders ist dies mit der Entfernungsschätzung auf der Haut. Hier hält man fast nie die beiden Zirkelöffnungen für gleich gross, kann es wenigstens nie mit einiger Sicherheit behaupten, sondern wenn die Entfernungen einmal unter die Grenze der deutlichen Unterscheidung fallen, so wird bald die eine, bald die andere für die beträchtlichere gehalten, und die kleinere ungefähr ebenso oft als die grössere, ja es kommt, wenn man die Zirkelspitzen einige Zeit ruhig mit der Haut in Berührung lässt, vor, dass die Entfernung, die anfangs die grössere schien, später für die kleinere gehalten wird und umgekehrt. Die Schätzungen mittelst des Gefühlssinnes tragen also in viel höherem Grade den Charakter der Veränderlichkeit und Unsicherheit an sich, als die Schätzungen mittelst des Gesichtssinnes. Ja der Unterschied ist, im Fall man für das Auge nicht grössere Entfernungen wählt, sondern dasselbe, wie im obigen Versuch, nur die Entfernung von Punkten abschätzen lässt, die in seiner Nähe in einer und derselben Fläche liegen, und auf die es accommodirt ist, so bedeutend, dass die Entfernungsbestimmung mittelst des Auges im Vergleich zu der mittelst der Haut sich geradezu wie eine exacte Messung betrachten lässt; die Schwankungen, welchen die Schätzung mit dem Gesicht unterliegt, sind im Verhältniss zu den erheblichen Schwankungen der Gefühlsschätzung so gering, dass sie ganz vernachlässigt werden können, dass es also erlaubt ist, unter den gemachten Voraussetzungen die mit dem Auge vollführten Raumbestimmungen als für die nämlichen Entfernungen der Objectpunkte constante und mit den Veränderungen derselben proportional sich verändernde Werthe anzusehen. Mit Benutzung dieses Princips gelingt es, die Schwankungen in der Raumunterscheidung des Gefühlssinnes einer messenden Untersuchung zu unterwerfen.

Man verfährt dabei auf folgende höchst einfache Weise. Man nimmt zwei gleiche Zirkel mit abgeschliffenen Spitzen, mit dem einen derselben berührt man bei einer bestimmten Zirkelöffnung die gewählte Hautstelle der dem Versuch sich unterziehenden Person; dieser, die ihr Gesicht vom Experimentirenden abgewendet hat, giebt man den zweiten Zirkel in

die Hand und lässt sie mit diesem nach dem Augenmaass die Entfernung der Spitzen des ersten Zirkels, so wie sie ihr nach dem Gefühlseindruck erscheint, bestimmen. Da hierbei wie gesagt die Unsicherheit des Augenmaasses im Vergleich zur Unsicherheit der Gefühlsschätzung verschwindend klein ist, so giebt die Vergleichung der scheinbaren, aus der Gefühlswahrnehmung bestimmten Entfernung der Eindrücke mit ihrer wirklichen Entfernung ein unmittelbares Maass ab für die Feinheit der Haut in der Raumschätzung und ebenso giebt bei wiederholter Einwirkung gleich weit entfernter Eindrücke auf eine und dieselbe Hautstelle die hierbei sich zeigende Veränderlichkeit in der scheinbaren Entfernung der Eindrücke unmittelbar die Schwankungen der Raumbestimmung mittelst des Gefühlssinnes an und somit ein Maass ab für den Grad der Unsicherheit der letzteren.

Noch sind bei diesen Versuchen einige Vorsichtsmaassregeln zu erwähnen, die, wenn man nicht ganz in der Irre herumgeführt werden will, durchaus beobachtet werden müssen. Erstens müssen die Zirkelspitzen möglichst senkrecht aufgesetzt, und es darf dabei die Haut nicht verschoben werden; zweitens sind zu den Versuchen möglichst gleichförmige Hautstellen zu benutzen, bei denen keine hervorragende und leicht kenntliche Punkte Gelegenheit zur Orientirung geben; endlich drittens muss die Versuchsperson selbst in völliger Ruhe verbleiben und namentlich keinerlei Anstrengung machen, eine genauere Schätzung der Entfernungen entweder durch blosses Nachdenken oder zugleich durch Bewegungen der tastenden Stelle sich zu ermöglichen. Bewegungen letzterer Art hat schon Czermak namentlich bei Blinden beobachtet und als „Tastzuckungen“ bezeichnet; sie finden sich aber in geringerem Grade auch bei Sehenden, wenn diese, wie in unseren Versuchen, verhindert werden die betastete Stelle zugleich in's Auge zu fassen; sie geschehen meistens unwillkürlich, und es gelingt sogar nur einer fortgesetzten Uebung, sie gänzlich zu unterdrücken. — Ich benutzte zu meinen Versuchen ausser andern Hautflächen insbesondere die Haut des Handrückens ihrer Länge nach; diese entspricht, wenn man die Entfernung der Zirkelspitzen bei der gewöhnlichen Grösse der Hand nicht über 20 Linien weit wählt, hinreichend den oben aufgestellten Bedingungen.

Das erste Moment, von welchem die Veränderlichkeit in der Schärfe der Raumschätzung abhängt, ist der Grad der Aufmerksamkeit. Es versteht sich von selbst, dass die Versuche nur angestellt werden dürfen, wenn auf sie die Auf-

merksamkeit sich möglichst concentrirt. Aber nichts desto weniger ist diese während der Dauer des Versuchs noch veränderlich, und diese Veränderlichkeit lässt sich nur bis zu einem gewissen Grade durch den Willen bezwingen, obgleich sie recht wohl dem Bewusstsein sich kundgiebt. So hat Jeder, an welchem man eine Versuchsreihe anstellt, im Anfang derselben das deutliche Gefühl, dass er zuerst zur gehörigen Aufmerksamkeit sich sammeln müsse, und er weiss gewöhnlich ziemlich scharf anzugeben, wann er diese erreicht hat; erst dann macht er seine Schätzungen mit einer gewissen Sicherheit, während er vorher denselben noch nicht das gehörige Zutrauen schenkt. Ebenso tritt, wenn die Versuche längere Zeit fortgesetzt werden, ein Punkt ein, wo die eigene Sicherheit wieder schwindet, wo es auch bei dem besten Willen unmöglich wird, mit der gleichen Achtsamkeit weiter zu beobachten: zuerst verlangt die fortgesetzte Theilnahme nur eine fühlbar grössere Geistesanstrengung, dann ermattet sie und schwindet endlich gänzlich. Endlich aber kommen, und dies namentlich bei ungeübteren Personen nicht sehr selten, Fälle vor, wo sich während der ganzen Dauer der Versuchsreihe aus irgend welchen Ursachen die Aufmerksamkeit nicht gehörig zu sammeln vermag; solche Fälle sind natürlich gar nicht verwerthbar, da sie beständig schwankende Resultate ergeben, und dieselben zu erkennen und auszuscheiden, bildet eine Hauptschwierigkeit dieser Untersuchungen; namentlich aber wird es dadurch nothwendig, lange Zeit hindurch an einer und derselben Person und an der nämlichen Hautstelle die Versuche zu wiederholen, um eine grössere Zahl übereinstimmender Ergebnisse zu erhalten, auf die Schlüsse gebaut werden können. Dies ist um so nothwendiger, als auch in den besten Versuchsreihen häufig wenigstens augenblickliche Störungen der Aufmerksamkeit vorkommen, durch welche die Resultate theilweise verwischt werden. — Objectiv charakterisirt sich die Zerstreutheit einzig und allein durch die veränderlichen und keinerlei Gesetz in ihrer Veränderlichkeit kundgebenden Ergebnisse der Schätzung; diese fällt bald grösser, bald — und dies in der Mehrzahl der Fälle — geringer aus als bei vorhandener Aufmerksamkeit. Entfernungen, die nur wenig über der Grenze der schärfsten Unterscheidungsfähigkeit hinausliegen, werden vom Zerstreuten gar nicht mehr wahrgenommen, und umgekehrt kann diese Grenze durch eine ungewöhnlich grosse Aufmerksamkeit sich etwas erweitern, so dass Eindrücke noch gesondert wahrgenommen werden, die bei geringerer Aufmerksamkeit in eine räumlich ungetrennte Empfindung verschmelzen.

Ein zweites Moment ist die Ermüdung des Tastorgans. Wenn man öfter nach einander eine und dieselbe Hautstelle mit gleich weit entfernten Zirkelspitzen berührt, so werden gewöhnlich die Entfernungen fortschreitend kleiner geschätzt, und nicht selten kommt es so weit, dass zuletzt beide Eindrücke gar nicht mehr von einander unterschieden werden können. Es findet hier bei oft wiederholter Berührung in längerer Zeit dasselbe statt, was man in kürzerer Dauer schon bei einmaliger Berührung beobachtet. In diesem Falle findet man nämlich stets, dass die Entfernung im ersten Moment der Berührung grösser geschätzt wird, als später, und dass sie bei längerer Dauer eine immer geringere, ja zuletzt häufig Null wird; es ist, als wenn die berührten Punkte allmälig einander sich näherten, bis sie endlich verschmelzen. Hebt man nun die Berührung auf, um aus dem Gedächtniss die Entfernung zu schätzen, so erweitert sie sich in der Vorstellung wieder allmälig, bis sie nahezu die Grösse, die sie bei der ersten Berührung hatte, erreicht hat; die berührten Punkte scheinen, nur undeutlicher, sich ebenso von einander zu entfernen, wie sie vorher einander sich näherten. An den Punkt, wo die reale Wahrnehmung ihr Ende erreicht hat, reihen die blasseren Vorstellungen des Erinnerungsverlaufes in der umgekehrten Folge sich an. Daher kommt es, dass aus dem Gedächtnisse die Entfernung meistens nicht ganz so weit geschätzt wird, als unmittelbar aus der frischen Empfindung, immer aber weiter, als wenn diese durch längere Dauer schon abgestumpft ist. — Weiterhin zeigt die subjective Beobachtung, dass an jeder entweder längere Zeit oder öfter nach einander berührten Hautstelle die Deutlichkeit des Gefühls beträchtlich abnimmt. Die Form des berührenden Körpers, die anfangs vielleicht ganz bestimmt aufgefasst wurde, wird immer ungenauer erkannt, namentlich verschwindet immer mehr ihre bestimmte Begrenzung, es ist, als wenn sie nicht plötzlich, sondern allmälig sich endigte; sie erhält daher jene unbestimmte Breite, die schon die Sprache ganz richtig ausdrückt, indem sie ein solches Gefühl als ein stumpfes bezeichnet. Ueber die Form und Grösse des berührenden Körpers lässt sich dann zuletzt gar nichts mehr aussagen, sondern überhaupt nur angeben, dass eine Berührung empfunden wird. Aber selbst diese Stufe kann bei weiter getriebener Ermüdung des Tastorgans noch überschritten werden. Wenn man lange Zeit hindurch oft nach einander eine und dieselbe Hautstelle mit gleichmässigem Druck berührt, so wird davon endlich nichts mehr gefühlt, und man muss den Druck beträchtlich steigern, um wieder

eine Empfindung möglich zu machen. Es ist dies offenbar der analoge Fall, als wenn wir einen Muskel so weit ermüden, dass er auf einen Reiz von bestimmter Stärke nicht mehr reagirt, obwohl er durch eine intensivere Erregung noch zur Zusammenziehung gebracht werden kann. Ganz wie ein Muskel durchläuft eine beschränkte Hautstelle die verschiedensten Stufen der Leistungsfähigkeit: die Empfindung, die Anfangs die höchste Schärfe besitzt, schwächt sich ab durch die verschiedenen Grade der Abstumpfung, bis sie zuletzt völlig vernichtet ist. Diese Veränderungen durch die Ermüdung sind ganz auf die gereizte Hautstelle beschränkt, sie breiten nur, allmälig abnehmend, auf die allernächste Umgebung der Berührungspunkte sich aus; jeder andere Hauttheil hat unterdessen die Integrität seiner Empfindungsfähigkeit bewahrt; es ergiebt sich hieraus mit Sicherheit, dass lediglich örtliche Verhältnisse jenen Veränderungen zum Grunde liegen, und dass namentlich nicht etwa, wie man vielleicht glauben könnte, eine Ermüdung der Aufmerksamkeit dabei von Einflusse ist.

Als drittes und wichtigstes Moment für die Entfernungsschätzung muss die Uebung genannt werden. Für die richtige Würdigung ihres Einflusses ist die Selbstbeobachtung von grosser Bedeutung. Ist man in den Versuchen noch völlig ungeübt, so erhält man, wenn die Cirkelspitzen hinreichend weit von einander entfernt sind, zwar deutlich die Vorstellung räumlich geschiedener Eindrücke, aber von der Grösse des Zwischenraumes, der diese Eindrücke trennt, macht man sich durchaus keine Vorstellung. Diese sucht man erst wach zu rufen in dem Moment, wo man zur Schätzung aufgefordert wird, aber selbst dann ist es für den Ungeübten oft ganz unmöglich eine Angabe zu machen, er kennt nur im Allgemeinen die Körperstelle, wo die Eindrücke stattfinden, von der Entfernung der letzteren hat er keinen Begriff. Diesen erwirbt er sich erst auf folgende Weise. Er sieht in der Einbildungskraft die berührte Körperstelle vor sich, und auf ihr den berührenden Cirkel; die Grösse der Cirkelöffnung, die auf diese Weise die Phantasie ihm liefert, bildet er mit dem Cirkel, den er in der Hand hält, in der Wirklichkeit nach. Jenes Vorstellungsbild weicht aber in zwei Punkten gewöhnlich von der Wahrheit noch ab und veranlasst dadurch eine unrichtige Schätzung. Erstens wird, namentlich von minder Geübten, der Ortpunkt, wo jede einzelne Cirkelspitze berührt, meistens nicht völlig richtig bestimmt, sondern nach irgend einer Seite verrückt, und zwar bald nach dieser bald nach jener, so dass

die Berührungspunkte sich bald näher bald ferner liegen; diese Unrichtigkeiten werden bei fortgesetzter Uebung immer geringer, und es lässt sich in nicht sehr langer Zeit so weit kommen, dass jedesmal mit einer wenigstens ziemlich annähernden Genauigkeit die Orte der Berührung vorgestellt werden, wenn die Aufmerksamkeit hinreichend gross, das Urtheil nicht durch andere Verhältnisse irregeleitet und die Hautstelle nicht durch die Ermüdung verändert ist. Ein zweiter Punkt, der von noch viel erheblicherem Einflusse wird, ist der Umstand, dass die Körperstelle selbst niemals von der richtigen Grösse, sondern in allen ihren Dimensionen verkleinert vorgestellt wird. Dadurch geschieht es, dass auch die Entfernung der berührten Punkte immer kleiner geschätzt wird als sie wirklich ist; diese letztere Unrichtigkeit der Vorstellung ist in viel höherem Grade bleibend, sie widersteht weit mehr der Uebung als die vorhin genannte; nur eine oft wiederholte Controle durch die unmittelbare Beobachtung kann hier allmälig das falsche Phantasiebild verbessern und seiner wirklichen Grösse wenigstens näher bringen, wenn es dieselbe vielleicht auch kaum jemals zu erreichen vermag.

Mit diesen Ergebnissen der Selbstbeobachtung stimmt nun vollständig überein, was die objective Untersuchung lehrt. Von Anfang an ist die geschätzte Entfernung erheblich kleiner als die wirkliche, an fein fühlenden Hautstellen ist sie grösser als an solchen von geringerer Feinheit, ohne dass jedoch zwischen der Schärfe der Unterscheidungsfähigkeit und der Richtigkeit der Schätzung ein constantes Verhältniss sich erkennen liesse; dies wird schon dadurch unmöglich, dass auf die Schätzung die verschiedene Uebung der einzelnen Hautstellen von weit bedeutenderem Einflusse ist, als auf die Unterscheidungsfähigkeit. — Ausserdem, dass die Entfernungen stets kleiner bestimmt werden als sie sind, ist beim Ungeübten die Schätzung eine in hohem Grad schwankende, offenbar davon herrührend, dass nicht nur die berührte Stelle in verkleinertem Maassstab, sondern auch jeder der berührten Punkte mehr oder minder unrichtig vorgestellt wird. Diese Schwankungen werden jedoch allmälig geringer und zuletzt bei fortgesetzter Uebung verschwindend klein, so dass, wenn nicht anderweitige ändernde Einflüsse statthaben, nach längerer Zeit die Bestimmungen in hohem Grade constant sind; dabei ist aber der mittlere Unterschied der geschätzten und der wirklichen Entfernungen gewöhnlich ungeändert geblieben, die berührte Stelle wird immer noch in denselben verkleinerten Dimensionen vorgestellt, aber die Uebung hat das Gefühl so

weit vervollkommnet, dass die berührten Punkte annähernd richtig bestimmt werden. Hat die Uebung dieses Stadium erreicht, so beobachtet man auch, dass die Schätzung mit viel grösserer Sicherheit und Raschheit geschieht; wozu Anfangs ein längeres Nachdenken nothwendig war, das wird jetzt im ersten Moment schon, sobald man den Cirkel aufsetzt, vollführt, wo früher die Angabe immer mit einigem Zweifel verbunden war, da geschieht sie jetzt mit einer bestimmten Entschiedenheit. Diese Veränderungen werden dadurch bedingt, dass das Bild der untersuchten Körperstelle, das im Anfang mit Mühe in die Vorstellung gerufen werden musste, allmälig von selbst und unwillkürlich bei jeder Berührung in derselben erscheint, indem es dabei eine immer bestimmtere Gestalt gewinnt, und indem zugleich die Vorstellung von dem Ort der Berührung, also von der Lage jeder einzelnen Cirkelspitze, die früher, nachdem jenes Bild schon vorhanden war, noch nachträglich gesucht werden musste, sich immer unmittelbar damit verbindet. — Erst viel später, wenn man die nämliche Hautstelle mehrere Wochen hindurch täglich mit diesen Versuchen einübt, gelingt es die Schätzung noch weiter zu vervollkommnen: es werden dann allmälig die Entfernungen etwas grösser bestimmt und nähern sich also der Wirklichkeit mehr. Nichts desto weniger ist, wenn man die Versuche nur in der bisher befolgten Weise angestellt, d. h. wenn man die untersuchte Stelle immer unbewegt lässt und nie die Versuchsperson über die wirklichen Entfernungen aufklärt, jene Vervollkommnung eine sehr langsame und bleibt auch, wie es scheint, in ziemlich enge Grenzen eingeschränkt.

Weit schneller geschieht diese Vergrösserung in der Schätzung der Entfernungen, wenn die untersuchte Körperstelle nicht in Ruhe verbleibt, sondern Tastbewegungen macht. Diese Bewegungen verschaffen, auch wenn sie sehr geringgradig sind, dadurch, dass sie die Haut unter der Cirkelspitze verschieben und somit successiv verschiedene Punkte derselben mit ihr in Berührung bringen, nicht nur eine genauere Kenntniss von den Orten, wo die Berührung stattfindet, sondern sie geben zugleich Aufschluss über die wirkliche Grösse der Entfernung dieser Orte. Der Einfluss der Tastbewegungen ist ein plötzlicher, und die Schätzung wird durch sie so vervollkommnet, dass sie in kurzer Zeit schon der wirklich gemessenen Entfernung sehr nahe kommt. Es ist kein Zweifel, dass durch diese Bewegungen vorzugsweise dem Blinden die Möglichkeit an die Hand gegeben wird, seinen Tastsinn zu der hohen Ausbildung zu bringen, die er meistens bei ihm erlangt. Das

Nämliche kann aber bei gehöriger Uebung auf demselben Wege auch der Sehende erreichen.

Dem Sehenden steht jedoch noch ein zweites Mittel zu Gebote, wodurch er, wenn auch etwas langsamer, die räumlichen Messungen, die er mit der Haut ausführt, mehr und mehr zu vervollkommnen und der Wirklichkeit zu nähern im Stande ist. Dies ist die Controle durch den Gesichtssinn. Lässt man die Versuchsperson, nachdem sie die Entfernung der aufgesetzten Cirkelspitzen geschätzt hat, von der wirklichen Entfernung jedesmal durch das Auge sich überzeugen, so hat dies anfänglich eine Unentschlossenheit des Urtheils zur Folge, die sich in den nun auftretenden Schwankungen der Ergebnisse kund giebt; die neu gewonnenen Erfahrungen stehen im Widerspruch mit der Anschauung, die während der bisherigen Versuche sich allmälig festgesetzt hatte; der letzteren wird daher misstraut, und die ersteren brauchen einige Zeit, bis sich durch ihre Vermittlung eine neue richtigere Anschauung gebildet hat. So kommt es, dass erst sehr langsam die Schätzung ihre frühere Sicherheit wieder gewinnt, während zugleich die Entfernungen in der Vorstellung sich vergrössern und ihrer Wirklichkeit sich immer mehr annähern. Man sieht, sowohl durch die Tastbewegungen als durch die Controle mittelst des Gesichtssinnes ist die räumliche Schätzung in einer fortschreitenden Vervollkommnung begriffen, die einer gewissen Grenze entgegengeht, welche sie ohne Zweifel durch eine lange fortgesetzte und anhaltende Uebung endlich auch zu erreichen vermöchte. Erreicht aber ist diese Grenze, wenn die durch den Tastsinn vollführte Messung mit der Messung durch's Auge in ihren Ergebnissen völlig zusammenfällt.

Mit den Einflüssen der Aufmerksamkeit, der Ermüdung und Uebung haben wir zwar bei weitem die meisten, aber noch nicht alle Abweichungen erklärt, welche diese Versuche uns darbieten, sondern es bleiben noch einige Veränderlichkeiten zurück, die sich durch nichts Anderes als durch eine Irreleitung des Urtheils, durch eine Urtheilstäuschung erklären lassen.

Hierher gehört zunächst, dass in den meisten Fällen die Kraft, mit welcher der Cirkel aufgesetzt wird, auf die Schätzung von erheblichem Einflusse ist: bei stärkerem Druck scheint die Entfernung eine weitere als bei schwächerem Druck; hier wird offenbar das Qualitative der Wahrnehmung, ihre grössere Deutlichkeit, auf das Quantitative derselben unwillkürlich übertragen. — Es reiht sich hieran folgender Fall: wenn man

die eine Cirkelspitze mit grösserer, die andere mit geringerer Kraft aufsetzt, so wird häufig nur der stärkere Eindruck und der schwächere gar nicht wahrgenommen. Wenn ferner die beiden berührten Hautstellen von sehr verschiedener Empfindlichkeit sind, so wird bei völlig gleichmässigem Aufsetzen oft nur an der empfindlicheren Hautstelle der Eindruck wahrgenommen; sobald auch an der unempfindlicheren Hautstelle noch ein Eindruck gefühlt wird, so wird er für bedeutend schwächer gehalten, und mit gleicher Kraft scheint die Berührung erst zu geschehen, wenn diese Kraft in der That eine ziemlich verschiedene ist. Dass in den Fällen, wo der schwächere Eindruck gar nicht mehr wahrgenommen wird, dies nicht etwa durch die absolut zu geringe Stärke desselben veranlasst ist, lässt leicht sich beweisen: lässt man nämlich den schwächeren Eindruck allein einwirken, so wird derselbe deutlich gefühlt, ja er bleibt wahrnehmbar, auch wenn er noch bedeutend vermindert wird; hingegen lässt sich umgekehrt auch ein stärkerer Eindruck zum Verschwinden bringen, wenn die Stärke des zweiten Eindrucks, der gleichzeitig mit ihm gemacht wird, in entsprechendem Maasse erhöht wird. Ein besonders auffallendes Beispiel ist folgendes: berührt man gleichzeitig und gleichmässig mit sehr weiter Cirkelöffnung Vorderarm und Hand, so wird häufig nur an der letzteren der Eindruck wahrgenommen, verengert man jetzt etwas die Cirkelöffnung, so dass die untere Spitze etwa auf die Handwurzel zu stehen kommt, so fühlt man vielleicht schon zwei Eindrücke, aber der untere scheint den obern an Stärke bedeutend zu übertreffen, verengert man endlich noch weiter, so dass beide Spitzen auf den Vorderarm beschränkt bleiben, so werden jetzt erst die beiden Eindrücke mit gleicher Deutlichkeit wahrgenommen; hier also findet das Auffallende statt, dass bei einer sehr grossen Entfernung nur ein Eindruck bewusst wird, während bei einer viel geringeren Entfernung zwei Eindrücke gefühlt werden. Man sieht, in allen diesen Fällen kommt es lediglich an auf die relative Stärke der Einzelempfindungen, und zwar kann eine jede bedeutend überwiegende Empfindung eine schwächere, die mit ihr gleichzeitig einwirkt, zum Verschwinden bringen, um allein im Bewusstsein aufzutreten.

Als ein weiterer bemerkenswerther Umstand gehört hierher, dass ein unmittelbar vorangegangener Eindruck auf den ihm nachfolgenden von Einfluss ist. So z. B. wird immer, wenn man auf einen Eindruck mit weiterer Cirkelöffnung einen solchen mit engerer Cirkelöffnung folgen lässt, die letztere Entfernung grösser geschätzt, als unter gewöhnlichen Ver-

hältnissen, und das Entgegengesetzte findet statt, wenn umgekehrt der engeren die weitere Cirkelöffnung nachfolgte, hier wird die grössere Entfernung kleiner geschätzt als gewöhnlich. Jede vorangegangene Vorstellung strebt also die ihr unmittelbar nachfolgende in ihrem Sinne zu ändern. — Etwas Analoges beobachtet man, wenn man viele Eindrücke nach einander stattfinden lässt, indem man dabei allmälig von weiteren zu engeren Cirkelöffnungen übergeht: hier verkleinern sich die geschätzten Entfernungen lange nicht in dem gleichen Maasse wie die wirklichen, sondern viel langsamer, und es werden selbst da noch deutlich zwei Eindrücke wahrgenommen, wo solches ohne dieses Verfahren bei weitem nicht mehr wäre möglich gewesen; man schleicht sich hier gewissermaassen über die gewöhnliche Grenze der feinsten Unterscheidungsfähigkeit ein und verkleinert so die sogenannten Empfindungskreise. Genau das Entgegengesetzte findet aber statt, wenn man in der umgekehrten Reihenfolge verfährt, wenn man den engeren Cirkelöffnungen, die Anfangs sogar noch keine räumlich getrennte Wahrnehmung möglich machen, allmälig die weiteren folgen lässt. Hier schleicht man sich unbemerkt über jene Grenze hinaus, macht also die Empfindungskreise grösser, und von dem Augenblick an, wo die zwei Eindrücke deutlich von einander geschieden werden, wachsen die geschätzten Entfernungen langsamer als die gemessenen. So kommt es, dass man bei diesem letzteren Verfahren für dieselben Entfernungen beträchtlich geringere Werthe erhält als bei dem vorangegangenen. Man sieht, in beiden Fällen macht sich, ähnlich wie in den früheren, eine gewisse Gewohnheit der Vorstellung geltend, welche das Urtheil jedesmal nach einer bestimmten Richtung hin irreleitet.

3. Die Gefühlslähmung und ihr Einfluss auf die räumliche Wahrnehmung [1]).

Von besonderem Interesse theils wegen der theoretischen Folgerungen, die sich aus ihnen ableiten lassen, theils wegen der praktischen Bedeutung, die ihnen zukommt, sind diejenigen Veränderungen in der Raumwahrnehmung, welche durch krankhafte Störungen der Hautsensibilität veranlasst werden. Solche Störungen sind am häufigsten bedingt durch

[1]) Die Versuche, auf welche die folgenden Resultate sich stützen, habe ich grösstentheils im Jahre 1855 und 1856 gemeinschaftlich mit meinem Collegen Bertheau in der damals unter Hasse's Leitung stehenden medicinischen Klinik zu Heidelberg angestellt.

Krankheitszustände in den Centralorganen des Nervensystems oder in deren nächsten Umgebungen, und es dürfte deshalb diese Untersuchungsmethode bei weiterer Ausbildung ein wichtiges diagnostisches Hülfsmittel zur Erkenntniss des Sitzes und der Verbreitung bestimmter pathologischer Veränderungen abgeben. Wir verzichten hier auf diesen praktischen Gesichtspunkt, obgleich er ohne Zweifel der wichtigere ist, da, um in dieser Richtung zu maassgebenden Resultaten zu gelangen, eine grosse Zahl mit der Untersuchung nach dem Tode verglichener Beobachtungen nothwendig wäre, wie sie uns nicht zu Gebote steht.

Im höchsten Grad der Sensibilitätsstörung, der aber sehr selten vorkommt, ist die Gefühlslähmung eine vollständige, auch die heftigsten Reize werden nicht mehr empfunden, und es kann darum hier von der Auffassung räumlicher Verhältnisse gar keine Rede sein; ich habe dies in einem Fall auf die ganze obere Körperhälfte verbreitet bei einem akuten encephalitischen Prozesse in der Hirnrinde beobachtet; dabei war gleichzeitig die Bewegungsfähigkeit zwar gestört, aber bei weitem nicht völlig vernichtet, der Kranke konnte z. B. seine Arme, an denen er komplet anästhetisch war, frei in die Höhe heben, liess sie aber sehr bald ermüdet wieder herabsinken, das Muskelgefühl schien demnach nicht beeinträchtigt, ja vielleicht eher erhöht zu sein. — Wo, wie dies meistens der Fall ist, Veränderungen im Gehirn mehr in der Tiefe desselben ihren Sitz haben, da ist immer im Gegentheil die Bewegungslähmung viel beträchtlicher als die Empfindungslähmung; aber auch diese fehlt wenigstens spurweise nie, auch wenn sie dem Kranken selbst nicht bewusst wird und eine oberflächliche Untersuchung sie nicht bemerkt, immer giebt dann noch die Messung eine Verschiedenheit von der gesunden Seite. Bei meningitischen Affektionen des Gehirns oder Rückenmarks sind gewöhnlich Sensibilität und Motilität ziemlich gleichmässig betroffen.

Die Versuche werden am zweckmässigsten so angestellt, dass man den Kranken, die man zur Untersuchung benutzt, die Augen verbindet und dann an den verschiedensten Körperstellen auf beiden Seiten diejenige Entfernung der Cirkelspitzen bestimmt, welche gerade nothwendig ist, damit die beiden Eindrücke gesondert zur Wahrnehmung kommen; man misst also hierbei die relative Grösse der sogenannten Empfindungskreise an verschiedenen Theilen der Hautfläche, indem man namentlich die sich entsprechenden Theile beider Körperhälften vergleicht. Noch ist jedoch bei diesen Ver-

suchen einige Vorsicht nothwendig. Zunächst hat man sich natürlich vor absichtlicher Täuschung, zu der namentlich weibliche Kranke in hohem Grade geneigt sind, zu hüten, solche Täuschungen sind jedoch durch die Widersprüche, zu denen sie führen, gewöhnlich leicht zu erkennen. Ferner darf ein Versuch nicht zu lange dauern, damit die Aufmerksamkeit des Kranken nicht ermüdet werde; will man daher die Sensibilität der ganzen Haut oder eines grossen Theils derselben prüfen, so thut man dies am besten in mehreren Versuchen, die durch hinreichend lange Pausen getrennt sind.

Bei allen Lähmungszuständen ist die Entfernung, bei der zwei Eindrücke als geschieden wahrgenommen werden, grösser als im normalen Zustande, dies tritt namentlich dann hervor, wenn die Lähmung eine einseitige ist, so dass man die gesunde mit der kranken Seite vergleichen kann. Auch wenn die Erkrankung beide Seiten betrifft, ist übrigens fast nie die Sensibilitätsstörung beiderseits von gleichem Grade, sondern gewöhnlich differirt sie sogar sehr erheblich; ferner ist die Vergrösserung der Empfindungskreise bei nur einigermaassen ausgesprochenen Lähmungen so bedeutend, dass sie, selbst wenn eine Vergleichung mit dem gesunden Zustande unmöglich ist, auf den ersten Blick in die Augen fällt; durch Anästhesien, die dem Bewusstsein des Kranken kaum sich kundgeben, werden die Empfindungskreise oft schon verdoppelt, und bei einigermaassen beträchtlicheren Empfindungslähmungen sind sie sogar bedeutend vervielfacht. — Die Grösse der Empfindungskreise ändert sich während des Krankheitsverlaufes und ist von dem letzteren abhängig, jedes Besser- oder Schlimmerwerden giebt auf's schärfste der Messung sich kund, ja diese ist im Stande Schwankungen zu entdecken, von denen weder der Kranke selber noch die sorgfältigste anderweitige Untersuchung etwas bemerkt. So wird man z. B. bei meningitischen Affectionen des Rückenmarks selten eine örtliche Blutentziehung oder einen örtlichen Gegenreiz anwenden, ohne dass fast momentan die Messung eine mehr oder minder beträchtliche Abnahme der Sensibilitätsstörung kundgiebt, und doch haben sich oft die Bewegungsfähigkeit und die andern Symptome nicht im geringsten gebessert; es erhellt hieraus deutlich die diagnostische und prognostische Wichtigkeit derartiger Messungen, denn wo z. B. nach irgend einem therapeutischen Eingriff auch nur die geringste Abnahme im Durchmesser der Empfindungskreise gefunden wird, da kann man wenigstens der Ueberzeugung sein, dass das angewandte Verfahren nicht wirkungslos war, eine Ueberzeugung, die auf

anderem Wege oft so schwer zu gewinnen ist, während man, wenn keine derartige Aenderung nachweisbar ist, von erfolglosen Versuchen bald abstehen wird. Aber wenn wir ganz von solchen speziellen Rücksichten absehen, so scheint es mir schon von ungemein grossem Werthe, dass der messende Versuch mit der grössten Sicherheit und in viel kürzerer Zeit als irgend ein anderes Hülfsmittel zu entscheiden vermag, ob das Uebel ein stationärer Zustand geworden ist, ob es noch in der Zunahme oder schon im Rückschritt begriffen ist, was leicht nachgewiesen werden kann daraus, dass die Empfindungskreise fortwährend eine constante Grösse behalten oder allmälig sich vergrössern oder verkleinern. Selbst für das Urtheil über die Beschaffenheit des Uebels kann diese Untersuchung oft Anhaltspunkte liefern, so ist z. B., wenn eine Blutentziehung nicht alsbald einen messbaren Effekt zur Folge hat, der sichere Schluss erlaubt, dass das Uebel kein entzündliches oder doch nicht mehr im entzündlichen Stadium begriffen ist.

Die Thatsache, dass ein stärkerer Eindruck einen schwächeren, mit dem er gleichzeitig einwirkt, oft zum Verschwinden bringt, die wir schon im physiologischen Zustand beobachten, tritt uns in diesen pathologischen Fällen noch viel häufiger und viel ausgeprägter entgegen. Setzt man den Finger der einen Hand auf eine gesunde oder minder anästhetische, den Finger der andern Hand auf eine anästhetischere Hautstelle, so wird fast in allen Fällen, selbst wenn die Entfernung eine sehr grosse ist, nur der erstere Eindruck gefühlt, während jeder Eindruck, wenn er allein einwirkt, deutlich zur Wahrnehmung kommt. Setzt man z. B. bei Lähmungen der beiden untern Extremitäten in Folge von Rückenmarksaffectionen, bei denen die Anästhesie gewöhnlich von oben nach unten zunimmt, den einen Finger auf den Oberschenkel, den andern auf den Unterschenkel oder Fuss, so wird die letztere Berührung gewöhnlich nicht gefühlt, wenn man nicht in einem unverhältnissmässigen Grade sie steigert; berührt man dagegen gleichzeitig irgend eine Stelle des einen und des andern Beines, so werden meistens beide Eindrücke wahrgenommen, auch wenn die Anästhesie an beiden Extremitäten einen sehr verschiedenen Grad hat. Sobald also die Körpertheile, denen die berührten Hautstellen angehören, eine beträchtlichere Verschiedenheit der Lage im Verhältniss zum Gesammtkörper haben, wird der schwächere Eindruck weniger leicht zum Verschwinden gebracht.

Der Ort, an dem ein Eindruck stattfindet, wird bei anästhetischen Zuständen fast durchweg unrichtig bestimmt. Manchmal ist es dem Kranken überhaupt nicht möglich, dar-

über zu einer sichern Meinung zu kommen, manchmal kann er nur ganz im Allgemeinen den Körpertheil bezeichnen, an dem der Eindruck statthatte, in vielen Fällen bezeichnet er endlich bestimmt den Ort der Empfindung, aber er bezeichnet ihn falsch. In diesen letztern Fällen ist es nun höchst bemerkenswerth, dass der Irrthum bei weitem am häufigsten kein zufälliger und daher schwankender ist, sondern dass er ein ganz bestimmtes constantes Gesetz befolgt: jeder Eindruck, der eine krankhaft unempfindliche Hautstelle trifft, wird an einen Ort verlegt, der im gesunden Zustand von geringerer Empfindlichkeit ist; zugleich ist dieser Ort der scheinbaren Empfindung derjenige der unempfindlicheren Hauttheile, der dem Ort der wirklichen Empfindung am nächsten liegt. Berührt man also z. B. in dem oben erwähnten Fall einer Lähmung der untern Extremitäten mit Zunahme der Anästhesie von oben nach unten eine tiefer gelegene Stelle des Beines, so glaubt der Kranke die Empfindung an einer höher gelegenen Stelle zu haben, das früher feinere Gefühl der unteren Partieen ist stumpfer geworden und wird darum weiter nach oben versetzt an einen Punkt, der schon als minder empfindlich bekannt ist.

Ein fernerer Irrthum, den man sehr gewöhnlich beobachtet, ist eine Ungewissheit über die Zeit und die Dauer des Eindrucks. — Zuweilen bemerkt der Kranke nicht den Moment, wann der Eindruck aufhört, sondern er glaubt, derselbe wirke noch ein, nachdem er längst schon ein Ende hat; umgekehrt kommt es oft vor, dass der Eindruck nur im ersten Augenblick der Berührung gefühlt wird, dann aber für die Wahrnehmung verschwindet, auch wenn er noch fortwirkt. Der letztere Fall findet sich immer nur bei bedeutenderen Anästhesieen, wenn zugleich das Stadium der Reizung völlig vorüber ist und einem stationären Lähmungszustand Platz gemacht hat; der erstere Fall findet sich hingegen da, wo neben der Anästhesie noch schmerzhafte Empfindlichkeit in höherem oder geringerem Grade vorhanden ist; offenbar nimmt hier, nachdem die objective Empfindung aufgehört hat, die immer fortdauernde subjective Empfindung die Form der ersteren an, und eine solche Verwechselung verschiedener Empfindungen wird gerade durch die vorhandene Gefühlslähmung in hohem Grade begünstigt. — An das Letztere schliesst sich die Erscheinung an, die man gleichfalls nicht selten beobachtet, dass Eindrücke, die nach einander einwirken, für gleichzeitige gehalten werden, oder dass ein Eindruck, der bereits aufgehört hat, neben einem

andern soeben entstandenen noch fortzubestehen scheint. Auch hier wird sichtlich das Urtheil über den Beginn und das Ende der objectiven Empfindung theils durch die Schwäche des Gefühls theils durch die fortwährende Einmengung subjectiver Empfindungen irre geleitet.

Der eben besprochene Fall bildet unmittelbar den Uebergang zu einer weiteren Klasse von Irrthümern, die bei anästhetischen Zuständen nicht selten sich finden; sie sind begründet in einer Ungewissheit über die Zahl der stattfindenden Eindrücke. Es kann begegnen, dass ein und dasselbe Individuum an der nämlichen Hautstelle das eine Mal einen Eindruck nicht wahrnimmt, ein anderes Mal statt des einen zwei oder gar mehr Eindrücke zu fühlen glaubt. Die Zahl der Eindrücke kann also unter den gleichen Verhältnissen durch die Täuschung vermehrt oder vermindert werden, aber, sobald einmal ein Eindruck gefühlt wird, so wird sie bei weitem in den meisten Fällen vermehrt, so dass daher gewöhnlich entweder gar kein Eindruck oder mehr Eindrücke als wirklich stattfindend wahrgenommen werden. Auch diese Erscheinung findet sich allein in den Fällen, wo die Gefühlslähmung von manchfachen subjectiven Empfindungen begleitet ist, namentlich wenn die gelähmten Theile durch neuralgische Schmerzen, durch Gefühl von Ameisenkriechen, von Eingeschlafensein der Glieder heimgesucht werden. Hier tritt offenbar entweder die objective in die Reihe der subjectiven Empfindungen ein und scheint darum zu verschwinden, es wird kein Eindruck gefühlt; oder mit dem Statthaben des Eindrucks treten die subjectiven Empfindungen in seine Form über, der Eindruck wird daher verdoppelt oder vervielfacht. Es ist hieraus erklärlich, dass von diesen sich scheinbar entgegengesetzten Beobachtungen bei dem nämlichen Krankheitszustand, ja bei dem nämlichen Kranken rasch nach einander bald die eine bald die andere gemacht werden kann.

4. Zur Theorie des Gefühlssinnes.

Die schroffsten Gegensätze, die in der Erklärung der räumlichen Sinnesanschauung uns entgegentreten, sind offenbar die, dass man auf der einen Seite dieselbe ableitet aus einem ursprünglichen Vermögen der Seele, das schon mit der Existenz derselben gegeben ist, und dass man sie auf der andern Seite lediglich in fertigen Einrichtungen der die Wahrnehmung vermittelnden Organe begründet glaubt. Wir haben schon gelegentlich bemerkt, dass beide Ansichten in der That nichts erklären, weil sie auf jede wirkliche Erklärung verzichten,

dass sie aber trotzdem beide bis zu einem gewissen Punkte berechtigt sind, weil die Beschaffenheit der Wahrnehmung wie die Einrichtung der Sinnesorgane auf eine psychische und eine physische Disposition nothwendig uns hinweisen muss. Diese Ueberzeugung wird aber nicht von dem Einflusse sein dürfen, dass wir damit jede weitere Untersuchung für unnöthig halten, sondern sie wird uns nur einen willkommenen Anhaltspunkt geben, welcher in der wirklichen Untersuchung uns leitet, als deren erstes Resultat wir sie zugleich ansehen müssen.

In den verschiedenen Ansichten über das Wesen der räumlichen Wahrnehmung mittelst der Haut, die wir oben kennen gelernt haben, tritt meistens noch der eine oder der andere jener Gesichtspunkte in grosser Einseitigkeit auf; nicht selten vereinigen beide sich mit einander, und dieser scheinbare Widerspruch ist tief begründet, denn an den Bau der Organe kann die Erklärung nur so lang sich halten, als es sich um die Fortpflanzung der Eindrücke handelt, aber der active Vorgang bei der Sinneswahrnehmung, die eigentliche Auffassung, ist aus anatomischen Grundlagen nicht mehr ableitbar, die Form der Auffassung kann daher nur aus dem Wesen der Seele selber erklärt werden, oder sie ist — wenn man, wie es meistens jene Ansichten thun, von vornherein auf jede Erklärung verzichtet — einer ursprünglichen Seelenanlage zuzuschreiben. Am deutlichsten tritt uns dies in Weber's Arbeiten entgegen: die Eindrücke pflanzen nach dem Gehirne sich fort und werden dort in analoger Weise wie auf der empfindenden Fläche geordnet, jeder Empfindungskreis wird dort als Raumeinheit repräsentirt, die Eindrücke erzeugen so im Gehirn gewissermaassen ein ihnen ähnliches Bild, das von der Seele, durch ein ihr a priori zukommendes Vermögen, wieder als räumliches aufgefasst wird. Diese Theorie würde, wenn wir sie auch nicht für eine wirkliche Erklärung ansehen könnten, die Thatsachen wenigstens auf die einfachste Art erläutern; doch um allen Thatsachen, welche die Beobachtung liefert, sie anzupassen, muss, wie dies Weber in seiner neuesten Abhandlung thut, angenommen werden, dass, um eine Unterscheidung verschiedener Eindrücke möglich zu machen, eine Vielheit von Empfindungskreisen zwischen denselben befindlich sei, dass also nicht bloss die empfindenden Punkte, auf welche Eindrücke statthaben, zum Bewusstsein gelangen, sondern auch jene, welche unberührt bleiben; ja gerade durch das Nichtempfinden des zwischen den berührten Punkten liegenden Theils der empfindenden Fläche soll die Vorstellung

eines Zwischenraums zwischen den Eindrücken entstehen. Diese Erklärung bildet offenbar die schwächste Seite der Theorie, denn sie hat weder eine logische Wahrscheinlichkeit für sich, noch stimmt sie überein mit anderweitigen Erfahrungen. Dass Nichtempfundenes zur Wahrnehmung komme ist ein Widerspruch, denn wir können wohl von Empfindungen reden, die nicht wahrgenommen werden, nie aber von Wahrnehmungen, die nicht aus Empfindungen stammen. Haltbar ist diese Ansicht daher nur, wenn man annimmt, dass von den zwischen den beiden Eindrücken liegenden nicht empfundenen Empfindungskreisen aus der Erinnerung ein Phantasiebild entsteht, und wenn wir hier statt der Empfindungskreise, die weder je in unserer Anschauung noch in unserer Erinnerung vorkommen, die zwischen den Eindrücken liegende nicht empfundene Hautstrecke setzen, so entspricht dies in der That unseren eigenen Beobachtungen; aber man sieht leicht ein, dass bei dieser neuen Fassung der Theorie die Annahme der festen Empfindungskreise in der Haut und im Sensorium, auf die man noch so grosses Gewicht legt, ganz bedeutungslos wird, indem man ja schliesslich darauf hinauskömmt, dass nur durch die Erfahrung die Eindrücke getrennt und die Entfernungen, die zwischen ihnen befindlich sind, abgeschätzt werden. So hebt die Theorie der Empfindungskreise, indem sie der Beobachtung immer mehr sich anpassen will, endlich sich selbst auf und führt unmerklich und unwillkürlich zum Richtigen über.

Von psychologischer Seite hat sich Waitz insofern ein Verdienst erworben, als er eine wirkliche Erklärung der Raumanschauung zu geben versucht, obgleich diese Erklärung als eine misslungene betrachtet werden muss; denn weder hat er die Voraussetzung, auf die er sie gründet, bewiesen, noch gehen die Folgerungen, die er aus der Voraussetzung der Einheit und Einfachheit der Seele ableitet, mit Notwendigkeit aus derselben hervor. Speziell die Tastversuche hat er überdies gar nicht berücksichtigt, ja seine Erklärung widerspricht zum Theil den Ergebnissen, die uns hier die Beobachtung liefert.

Im Gegensatze hierzu hat Lotze, indem er, die Raumanschauung als ein gegebenes Besitzthum unserer Seele annehmend, das allgemeine Problem noch zur Seite schob, sich vorzugsweise mit der Lösung der besonderen Aufgaben beschäftigt, welche bei den einzelnen Sinnen, die ihre Wahrnehmungen in die räumliche Form bringen, sich darbieten. Der psychologische Gesichtspunkt, von dem Lotze hierbei

ausgeht, ist vollkommen richtig: die Empfindungen an und für sich sind reine Intensitäten, sie können als solche keine Andeutung einer räumlichen Ausdehnung und Lage enthalten; wo diese daher in der Wahrnehmung vorkommen, da kann dies nicht auf dem Wege der Auffassung, sondern auf dem der Wiedererzeugung der Räumlichkeit sein. Aber fragen wir weiter, wie diese Wiedererzeugung im einzelnen Falle geschieht, so erhalten wir darauf keine Antwort, die uns befriedigen könnte. Sobald es sich darum handelt, den richtig erkannten Grundsatz im Besonderen durchzuführen, der psychologischen Forderung auf physiologischem Wege Genüge zu leisten, sind wir verlassen, auf wenige Andeutungen beschränkt, die weder die Sache erschöpfend behandeln noch immer eine zweifellose Gültigkeit haben. Mit dem Begriff des Lokalzeichens ist streng genommen nur dem obigen psychologischen Satze ein kurzer Ausdruck gegeben, es ist damit der physiologischen Untersuchung nur eine Aufgabe bezeichnet, die sie noch zu lösen hat, und man muss sehr vor der Meinung sich hüten, dass mit der Aufstellung eines Systems von Lokalzeichen schon irgend ein Schritt zur Lösung geschehen sei, sondern in allen Fällen wird es sich darum handeln, wie man den Begriff des Lokalzeichens definirt. Es zeigt sich nun, dass dieses Wort nicht nur bei den verschiedenen Autoren, die es gebrauchen, sondern sogar bei einem und demselben verschiedene Bedeutungen hat, so dass man es vielleicht besser ganz würde fallen lassen, um nicht den Glauben an eine Uebereinstimmung der Meinungen zu erwecken, wo in der That eine grosse Differenz derselben vorhanden ist.

Schon bei Lotze verhalten sich die Lokalzeichen bei den einzelnen Sinnen nicht analog, sondern sie sind bald ein System von Bewegungen, bald ein System von Empfindungen, davon aber wird nur das letztere, und zwar gerade beim Gefühlssinn, genauer erörtert: das Lokalzeichen ist hier die besondere Färbung, welche die Empfindung erhält durch ihre Irradiation auf umgebende Theile; die Feinheit der Unterscheidungsfähigkeit hängt daher nicht ab von der Struktur der Haut selber, sondern von der Form und Beschaffenheit der Theile, die sie überzieht. Nach dieser Hypothese müsste erwartet werden, dass die Feinheit der räumlichen Unterscheidung in sehr bedeutendem Grade von der Stärke der Eindrücke abhängt, und wenn die Eindrücke sehr schwach sind, sollte endlich auch bei der weitesten Entfernung eine Unterscheidung unmöglich werden, denn die Ausbreitung der

Empfindung hält nothwendiger Weise gleichen Schritt mit der Ausbreitung der Erregung.

Diese Ueberlegung war es vielleicht, die Meissner bestimmte, statt der Irradiation auf umgebende Theile eine Irradiation in der Haut selber zu setzen, eine Ansicht, zu der sich auch schon bei Lotze die Andeutung findet in der Vermuthung, dass „unabhängig von der Eigenthümlichkeit ihrer Aufspannung am Körper jede einzelne Hautstelle in ihrer beständigen Struktur Motive erhält, um deren willen sie gleiche Eindrücke anders als die übrigen Stellen in sich verarbeitet.“ Diese Ansicht, die allerdings viele Wahrscheinlichkeit für sich hat, erhielt aber von Meissner eine Ausführung, der man, obschon gleichfalls Lotze bereits die Andeutung dazu gegeben hat, unmöglich beistimmen kann. Wenn nämlich, um die Feinheit der Ortsunterscheidung direct der Anzahl sensibler Punkte auf einer gegebenen Hautfläche proportionel setzen zu können, gesagt wird, dass immer die Erregung einer bestimmten Zahl sensibler Punkte nothwendig sei, damit für die Seele das Lokalzeichen des Reizes entstehe, so ist dies nicht nur eine höchst unwahrscheinliche Hypothese, die durch ihre Consequenzen sich selber aufhebt, sondern es verliert auch dadurch der Begriff des Lokalzeichens völlig seine eigentliche Bedeutung. Diese lag in der Opposition gegen die Annahme fester, durch fixe anatomische Verhältnisse bestimmter Empfindungskreise. Sobald man aber die Fähigkeit der Raumunterscheidung irgendwie auf die Zahl der Nervenfasern oder der Tastorgane zurückführt, so hat man die Weber'sche Hypothese, wenn auch in anderer Form, wieder hergestellt. Und wenn man dabei auch anerkennt, dass die Uebung diese festen Verhältnisse bis zu einem gewissen Grad ändern kann, so ist dies nur ein Zugeständniss, das man der Beobachtung macht, und das ihr auch Weber gemacht hat, zugleich aber ein Zugeständniss, durch das jede Annahme fester Empfindungskreise im Grunde vernichtet wird.

Das Nämliche gilt von Czermak's früheren Hypothesen: ihm ist die einzelne Nervenfibrille das einfachste Glied unseres Raumbildes. Dennoch findet sich hier schon in gewisser Hinsicht ein Fortschritt, eine grössere Befreiung von willkürlichen anatomischen Voraussetzungen: bei Meissner war es die bestimmte Zahl der Tastorgane, die das Lokalzeichen des Reizes bedingte, bei Czermak wird es veranlasst durch die besondere Färbung, welche die erregte Nervenfibrille der Empfindung ertheilt, und er sucht nicht, wie Jener, diese reine Qualität der Empfindung noch aus irgend welchen quantitativen

Verhältnissen abzuleiten. — Noch voraussetzungsloser wird die Hypothese in der Gestalt, die ihr Czermak zuletzt gegeben hat, und man könnte sie so als eine den Thatsachen unmittelbar entnommene Deutung wohl gelten lassen, wenn nicht auch hier noch sich Einiges einmischte, was weder durch die Beobachtungen gefordert ist, noch sie näher erläutert. So wird Meissner's Idee einer Irradiation der Empfindung auf umgebende sensible Theile in etwas veränderter Gestalt wieder aufgenommen, in Folge dessen wird das „Lokalzeichen höherer Ordnung“ geschaffen und dem einfachen Lokalzeichen gegenübergestellt. Ja, selbst die Empfindungskreise spielen fast noch dieselbe Rolle wie in der ursprünglichen Weber'schen Hypothese; sogar die Annahme wird noch beibehalten, dass immer ein unberührter Empfindungskreis zwischen zwei Eindrücken liegen müsse, um diese zu scheiden, und es wird darauf der Gedanke einer Messung der Empfindungskreise gegründet. — Czermak's Hypothese macht den Eindruck eines Aggregates, zu dessen Bildung Bruchstücke der verschiedensten Art zusammengeschwemmt wurden, und aus dem vielleicht ein guter Kern herauskrystallisirt wäre, wenn nicht die heterogene Masse ihn daran gehindert hätte.

Wir müssen Lotze das grosse Verdienst zuerkennen, dass er, auf unzweifelhafte psychologische Thatsachen gestützt, zuerst die richtigen Gesichtspunkte aufgestellt hat, von denen die physiologische Untersuchung des Tastsinnes ausgehen muss. Aber indem man bei der Durchführung, die man den so gewonnenen Grundsätzen zu geben versuchte, von der Annahme bestimmter anatomischer Verhältnisse ausging und mehr und mehr auf diese das Hauptgewicht legte, entfernte man sich nicht blos von dem Boden der Thatsachen, sondern man gerieth sogar zum Theil, zurückverfallend in die Theorie fester Empfindungskreise, mit jenen Grundsätzen selber in Widerspruch, und wenn man auch, sich losreissend von unbewiesenen Voraussetzungen, mehr und mehr zu einer Erklärung der Erscheinungen hinstrebt, die der Beobachtung sich unmittelbar anschliesst, so wird dieser Widerspruch doch nirgends ganz überwunden. —

Unsere Betrachtungen haben uns unvermerkt zu derjenigen Theorie des Gefühlssinnes geführt, die wir als den einfachsten Ausdruck der physiologischen Erfahrungen bei dem heutigen Stande der Wissenschaft ansehen müssen. Sie ergiebt sich aus der Entwicklungsgeschichte, von der wir oben einen Abriss zu geben versuchten, und an die sie als ihr letztes Glied sich hier anreiht, von selber, oder könnte doch leicht aus ihr

unmittelbar ihre Ableitung finden. Wir ziehen es jedoch vor, zu diesem Zwecke zu den Resultaten, welche die Beobachtung und der Versuch uns liefern, zurückzugehen; diejenige Deutung, welche sich aus der Gesammtheit der Erscheinungen am unmittelbarsten ergiebt, wird zugleich uns auf dem kürzesten Wege eine Erklärung dieser Erscheinungen liefern.

Von dem allgemeinen Problem der Entstehung der Raumanschauung sehen wir hier noch vollständig ab, theils weil die uns beschäftigenden Erscheinungen ohne Rücksicht auf dasselbe ihre Erklärung werden finden können, theils und besonders deshalb, weil diese Erklärung selber nichts Anderes als der erste Schritt ist zur Lösung jenes allgemeinen Problems, einer Lösung, die erst durch die Analyse der Wahrnehmungen des Gesichtssinnes sich vervollständigen wird.

Wenn man nach einander verschiedene Stellen der Hautoberfläche genau auf dieselbe Weise berührt, so überzeugt man sich, dass trotz der Gleichheit der den Eindruck veranlassenden Ursache die Art der Empfindung durchaus nicht überall die nämliche, sondern an jeder einzelnen Hautstelle wieder eine andere ist. Diese verschiedene Färbung der Empfindung, die von der Verschiedenheit des Ortes der Berührung herrührt, und für die der Ausdruck Lokalzeichen, wenn man ihn, nachdem er in so verschiedenem Sinne gebraucht worden ist, nicht missverstehen will, ganz passend erscheint, ist im Ganzen unabhängig von der Stärke des Eindruckes. Die letztere ist nur von Einfluss auf den Grad der Deutlichkeit des Lokalzeichens, und zwar so, dass dasselbe bei einer gewissen mittleren Stärke der Erregung am schärfsten hervortritt, während es sowohl bei schwächeren als bei übermässig starken Eindrücken an Klarheit verliert. Die Wahrnehmung des Ortes der Empfindung hängt somit ab von der durch den Ort bedingten Qualität der Empfindung. Ob diese Qualität eine von Punkt zu Punkt wechselnde ist, wissen wir nicht, wir wissen nur, dass wir bei weitem nicht im Stande sind, alle Abstufungen wahrzunehmen, die sich in der Wirklichkeit finden, und dies erschliessen wir daraus, dass es uns durch Aufmerksamkeit und Uebung gelingt, unseren Sinn für die Erkenntniss jener Verschiedenheiten immer mehr zu schärfen, ohne dass, wie es scheint, eine bestimmte Grenze vorhanden ist; es mag daher sein, dass wir auch hierin die Vollkommenheit niemals erreichen, aber in einem unendlichen Progresse uns ihr annähern können.

Diese Verschiedenheit in der Qualität der Empfindung, die von der Art des äusseren Eindruckes unabhängig ist, tritt

nun, wie die Beobachtung weiter zeigt, beim Uebergang von einer Hautstelle zu einer benachbarten mit sehr verschiedener Schnelligkeit auf. An den feinfühlenden Theilen, die vorzugsweise zum Tasten gebraucht werden, wie z. B. an den Fingerspitzen, ist die Verschiedenheit der Empfindung auf zwei sich sehr nahe liegenden Punkten schon äusserst deutlich ausgesprochen, während an Theilen von minder feinem Gefühl, wie z. B. am Rücken, an den Armen und Schenkeln, die Verschiedenheit der Empfindung erst auf entfernter liegenden Punkten merklich wird.

Die von dem Orte des Eindrucks abhängige qualitative Differenz der Empfindung ist eine unzweifelhafte Thatsache der Beobachtung. Werfen wir jedoch die Frage auf, wovon diese Differenz abhängig ist, so begeben wir uns damit schon auf den Boden der Hypothese, denn, wenn auch die Anatomie bestimmte Strukturverschiedenheiten nachweisen kann, so ist doch die physiologische Untersuchung bei weitem nicht im Stande, die Bedeutung dieser Strukturverschiedenheiten zu würdigen, und die einzige Thatsache, die sie mit Sicherheit aussprechen darf, ist eben die der qualitativen Differenz der Empfindung an verschiedenen Hautstellen bei vorhandener Gleichheit des Eindruckes und des verschiedenen Grades ihrer Abstufung an den einzelnen Körpertheilen; diese einzige Thatsache genügt aber, wie wir sehen werden, um alle Ergebnisse der Beobachtung und des Versuches daraus abzuleiten. Die Anatomen sind mehrfach, und grösstentheils veranlasst durch physiologische Betrachtungen, bestrebt gewesen, besondere Tastorgane in der Haut zu entdecken. Dieses Bestreben war bis jetzt erfolglos, denn die Organe, die man für die Funktion des Tastens in Anspruch nahm, entsprechen den an sie zu stellenden Forderungen durchaus nicht ihrer Verbreitung nach, und vielleicht nicht einmal ihrem Baue nach. Aber der physiologische Gesichtspunkt, durch den man zu der Aufsuchung derartiger Organe geleitet wurde, war nicht einmal ein richtiger, denn er steht und fällt mit der Annahme fester Empfindungskreise: die Physiologie fordert keine *einzelnen* spezifischen Tastorgane; das einzige Tastorgan, das sie kennt, ist die *Haut*, als Sinnesorgan des Tastsinnes muss die ganze Hautfläche betrachtet werden. — Welche Bauverhältnisse es sind, in denen die Verschiedenheit der Qualität der Empfindung begründet ist, zur Beantwortung dieser Frage giebt uns die Anatomie nur *einen*, aber allerdings einen sehr wichtigen Anhaltspunkt: sie zeigt nämlich, dass eine Hautstelle um so reicher an Nerven ist, eine je grössere Feinheit des Gefühls

sie besitzt und eine je schärfere Unterscheidung der qualitativen Abstufungen der Empfindung ihr möglich ist. Dabei müssen wir noch auf einen Umstand aufmerksam machen, der von grosser Wichtigkeit sein dürfte. Die Zahl der auf die Flächeneinheit kommenden Nervenfasern ist nämlich für zwei gleich weit entfernte Hautstellen an einem nervenreicheren Theil viel verschiedener als an einem nervenärmeren; so ist z. B. an einer Fingerspitze die Zahl der Primitivfasern, die auf die gleiche Fläche kommt, viel grösser als an der Haut des zweiten Fingergliedes; nehmen wir aber die gleiche Entfernung am Rücken, am Arm oder selbst an der Hand, so wird hier die Verschiedenheit entweder gar nicht oder sehr wenig bemerkbar sein. Es scheint also, dass die Abstufung in der Zahl der Primitivfasern eine ähnliche ist wie die Abstufung in der Qualität der Empfindung, und hierdurch wird es wohl erst bedingt, dass diejenigen Hautstellen, die durch den grössten Nervenreichthum sich auszeichnen, immer auch die grösste Schärfe in der Unterscheidung örtlich verschiedener Eindrücke haben. — Ausser dem Nervenreichthum mögen noch solche Strukturverhältnisse der Haut, welche die Zuleitung des Reizes erleichtern oder erschweren, auf das Quale der Empfindung von Einflusse sein; hierfür spricht, dass, wenn z. B. die Epidermis durch irgend welche Ursachen eine dickere und derbere Beschaffenheit erhält, dadurch das Gefühl stumpfer wird; bei Menschen, die lange Zeit mit harten Handarbeiten sich beschäftigen, können sogar diejenigen Hauttheile, die sonst die feinste Empfindung haben, fast eine absolute Gefühllosigkeit annehmen. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass der letztere Einfluss der untergeordnetere ist; so viel nämlich die Untersuchung ergiebt, sind diejenigen Verschiedenheiten, die für die Zuleitung des Reizes von Bedeutung sein können, bei weitem nicht so erheblich als die Verschiedenheiten des Nervenreichthums. Hierbei muss noch bemerkt werden, dass gerade diejenigen Hauttheile, die durch eine minder derbe schützende Bedeckung der Nerven ein empfindlicheres Gefühl haben, durchaus nicht zugleich diejenigen sind, die durch besondere Feinheit des Gefühls sich auszeichnen, d. h. durch die scharfe Wahrnehmung des Ortes der Berührung; so ist z. B. die Rückenhaut sehr empfindlich gegen Eindrücke, aber ihr Gefühl ist ein stumpfes, und an der Fingerspitze ist das Gefühl weit feiner, aber minder empfindlich. Eine allzu grosse Empfindlichkeit scheint gerade für örtliche Wahrnehmungen minder geeignet zu sein, weil ein stärkerer Reiz leicht allzu heftig empfunden wird und das dadurch bedingte sub-

jective Gefühl der Unlust die Achtsamkeit auf das Object, das den Eindruck hervorruft, unmöglich macht. Anderseits darf aber auch die Unempfindlichkeit ein gewisses Maass nicht überschreiten, damit das unempfindliche nicht zugleich zum stumpfen Gefühl werde. Jedenfalls geht aus dem Gesagten hervor, dass die Bedingungen der Zuleitung des Reizes und die durch sie bedingte mehr oder minder grosse Empfindlichkeit des Gefühls auf die von dem Orte des Eindruckes abhängige Qualität der Empfindung einen Einfluss ausübt, wenn sich auch der Grad der Wichtigkeit dieses Einflusses vorerst nicht bestimmen lässt.

Der Gefühlssinn vermittelt ausser den Empfindungen des Druckes, die nur der unmittelbaren Berührung äusserer Gegenstände ihren Ursprung verdanken, noch die Empfindungen der Temperatur. Diese beruhen auf einem Ausgleichungsprocess der Hautwärme entweder mit der Temperatur der umgebenden Luft oder mit der Temperatur eines berührenden Körpers, sie sind also im letztern Fall mit Druckempfindungen verbunden. Die Druckempfindung selber ist nur dann nicht von Temperaturgefühlen begleitet, wenn der berührende Körper die gleiche Wärme hat wie die Haut. — Die Temperaturempfindungen mittelst der Haut entsprechen den Lichtempfindungen durch's Auge, sie sind nur von viel grösserer Einförmigkeit als diese, die ausser den verschiedenen Graden der Intensität noch die unendliche Mannigfaltigkeit der Farben enthalten. Die Analogie würde noch eine weit grössere sein, wäre die Haut nur ein in die Ferne wirkendes Sinnesorgan, auf das die Wärmestrahlen der Körper einwirkten, um auf ihm ein ähnliches Bild zu entwerfen, wie die Lichtstrahlen im Auge. Auch bei der Einwirkung der strahlenden Wärme, die ohne jedes Druckgefühl statt hat, ist die Empfindung eine qualitativ verschiedene an den verschiedenen Hautstellen, und wir vermögen daraus auf die Gegend zu schliessen, in welcher der Körper sich befindet, von dem die Mittheilung oder Entziehung der Wärme herrührt. Aber diese Erregung aus der Ferne, die beim Auge von überwiegender Wichtigkeit ist, tritt bei der Haut vor der Erregung durch unmittelbare Berührung so sehr zurück, dass sie bei den räumlichen Wahrnehmungen dieses Sinnesorgans gar nicht in Betracht kommt.

Denjenigen Verschiedenheiten in der Qualität der Empfindung, welche von dem Ort der Einwirkung des Reizes herrühren, steht die grosse Zahl jener Verschiedenheiten entgegen, die von der verschiedenen Art des stattfindenden Eindruckes abhängen. — Unter den Druckempfindungen gehören hierher zunächst diejenigen, die durch die verschiedene Gestalt des

berührenden Körpers bedingt sind. Das Bild dieser Gestalt wird am schärfsten wahrgenommen von den Hauttheilen, die durch die feinste örtliche Empfindung sich auszeichnen; es wird also genauer aufgefasst von der nervenreichen Haut der Finger, als von der nervenarmen Rückenhaut, und damit durch die letztere eine einigermaassen bestimmte Vorstellung von der Form der berührenden Fläche gelinge, muss diese Fläche schon eine viel bedeutendere Grösse haben. Die Fähigkeit der Gestaltenauffassung steht also in directem Verhältniss zur mehr oder minder feinen Abstufung der von dem Orte des Eindruckes abhängigen Empfindungsqualitäten. Wenn der Körper, mit dem der Eindruck gemacht wird, eine spitze Gestalt hat, so dass er bis zu einer gewissen Tiefe in die Haut einzudringen vermag, so wird eine Auffassung seiner Form nicht mehr möglich, aber, indem er unmittelbar zerstörend auf einen oder mehrere Nervenfäden einwirkt, veranlasst er das Gefühl des Schmerzes. Dieses Schmerzgefühl ist nur nach der Zahl der getroffenen Primitivfasern verschieden, und es wird darnach als ein mehr oder weniger intensives bezeichnet.

Eine zweite Reihe von Verschiedenheiten wird bedingt durch die verschiedenen Grade des Druckes, die der berührende Körper hervorbringt[1]). Auch diese Verschiedenheiten sind rein qualitativer Natur, aber wir haben uns so sehr daran gewöhnt, mit ihren Ursachen sie zu vergleichen, dass wir unmittelbar von Graden der Druckempfindung zu reden pflegen. Denken wir uns aber, wir hätten über eine den Eindruck veranlassende Kraft niemals etwas erfahren, so würden wir auch niemals etwas Quantitatives in die Empfindung hineinlegen. Das der Ursache entnommene Maass übertragen wir unwillkürlich auf die in sich selbst kein Maass enthaltende Wirkung.

Eine der eben besprochenen entsprechende Reihe von Verschiedenheiten finden wir bei den Temperaturempfindungen. Die verschiedenen Wärme- und Kältegrade bedingen eine ebenso grosse Menge von verschiedenen Empfindungsqualitäten. Auch diese sind wir gewohnt als gradweise Abstufungen anzusehen, und eine Unterscheidung wird uns erst unmöglich bei den

[1]) Darin, dass die objective Empfindung bei stärkeren (wie bei schwächeren) Eindrücken undeutlicher wird, kann offenbar kein Grund liegen, die heftigeren Empfindungen als Druckempfindungen von der einfachen Tastempfindung zu unterscheiden. Auch beim Auge wird Niemand das Sehen mässig leuchtender Gegenstände ein anderes Sehen, als das von sehr schwach oder sehr grell leuchtenden Gegenständen nennen, und doch ist namentlich bei den letzteren die genaue Auffassung bedeutend erschwert.

Extremen der Temperatur, welche die Nervensubstanz örtlich zerstören und dadurch das überall ähnliche Gefühl des Schmerzes hervorrufen. Aber indem wir die Temperaturempfindungen als gradweise auffassen, begehen wir den ähnlichen Irrthum wie bei den Druckempfindungen: auch bei der Wärme und Kälte scheint uns das von aussen her genommene Maass in der an und für sich rein qualitativen Empfindung zu liegen.

Alle diese Verschiedenheiten, die von der Intensität der äussern Einwirkung herrühren, haben das Gemeinsame, dass sie an allen Theilen der Hautfläche mit ungefähr gleicher Schärfe aufgefasst werden. Die Genauigkeit, mit der wir die Grade der Temperatur oder die Grade des Druckes, der durch Gewichte auf unsere Haut ausgeübt wird, unterscheiden, ist, wie E. H. Weber durch Untersuchungen bewiesen hat, überall annähernd die nämliche. Ohne Zuhülfenahme des Muskelgefühls kann man bei grosser Aufmerksamkeit noch Gewichte unterscheiden, die sich wie 29 : 30 verhalten; ebenso nimmt man unter günstigen Verhältnissen gewöhnlich noch einen Temperaturunterschied wahr, der $^2/_5$—$^1/_5$ Grad der Réaumur'schen Scala beträgt.

Wir haben gesehen, dass die quantitativen Schätzungen des Druckes und der Temperatur lediglich auf Schlüssen beruhen, die aus so oft wiederholten Erfahrungen entnommen sind, dass sie immerwährend unbewusst sich vollziehen. Aber wir haben auch ferner gesehen, dass bei den räumlichen Bestimmungen, die wir mit dem Gefühlssinne ausführen, in der Empfindung selber nichts Quantitatives, nichts was irgend etwas über räumliche Verhältnisse aussagte, enthalten ist; auch hier haben wir es blos mit Empfindungsqualitäten zu schaffen, auch das räumliche Maass muss daher erst aus der Erfahrung gewonnen werden.

Legen wir uns zuerst die Frage vor: Wie gelangen wir zur Kenntniss des Ortes, an dem ein Eindruck stattfindet? — Jeder Punkt unserer Hautfläche theilt, wie mehrfach erwähnt wurde, der Empfindung eine Eigenthümlichkeit mit, welche die Qualität derselben in bestimmter Weise modificirt. Wie die ganze Empfindung an und für sich über ihren objectiven Ursprung nichts aussagt, sondern nur als eine Veränderung im Zustand des empfindenden Subjectes auftritt, so wird auch jede Modification derselben, mag sie nun in der Art oder im Orte der Erregung begründet sein, in sich keinerlei Andeutung ihrer Ursache enthalten. Erst die Erfahrung ermöglicht es, diejenigen Qualitäten, die durch die Form der äusseren Einwirkung bedingt sind, von jenen zu scheiden, die

von der Stelle des Eindruckes abhängen, und jede im einzelnen Falle auf ihre besondere Ursache zurückzubeziehen. Da nun die Erfahrung uns von frühe an zeigt, dass jede Hautstelle ihr besonderes Quale der Empfindung besitzt, so muss, sobald dieses Quale als theilweiser Inhalt einer Wahrnehmung auftritt, zugleich die Vorstellung der ihm entsprechenden Stelle geweckt werden. Diese Vorstellung liefert bei weitem in den meisten Fällen der Gesichtssinn, dessen örtliche Wahrnehmungen denen des Tastsinnes vorangehen; eine Ausnahme davon macht nur der Blindgeborene. Auf diese Weise verknüpfen sich die Vorstellungen der einzelnen Theile unserer Körperoberfläche auf's innigste mit den durch sie veranlassten Empfindungsqualitäten. Nichts desto weniger liegt zwischen der Empfindung und ihrer Beziehung auf den Ort, wo sie statt hat, offenbar noch ein psychischer Act, und zwar eine Schlussfolgerung, die aber nicht in's Bewusstsein fällt.

Beim Blindgeborenen, der durch die begleitenden und vorausgegangenen Erfahrungen des Gesichtssinnes nicht unterstützt wird, geschieht die Wahrnehmung des empfindenden Ortes auf eine viel langsamere und mühsamere Weise. Der Blinde erhält die Vorstellung seines Leibes lediglich durch das eigene Betasten. Indem er mit dem Finger oder der Hand verschiedene Stellen seines Körpers betastet, entstehen in den Muskeln des Arms ebenso viel verschiedene Muskelgefühle. Diese werden ihm aber auf eine Weise, die wir in einer späteren Abhandlung noch erörtern werden, ein Maass der verschiedenen Entfernungen. So erhält er eine Vorstellung von der gegenseitigen räumlichen Lagerung der einzelnen Punkte seiner Hautoberfläche, und indem ihm zugleich bei jedem Punkt das demselben entsprechende Quale der Empfindung sich einprägt, wird er in den Stand gesetzt, auch den Ort anzugeben, an dem Eindrücke stattfinden, die von aussen einwirken, und für deren örtliche Feststellung er ebenso wenig sein Muskelgefühl zur Benutzung herbeizieht, wie der Sehende seinen Gesichtssinn.

Da die Bestimmung des Ortes der Empfindung abhängt von der grössern oder geringern Deutlichkeit, mit der differente Empfindungsqualitäten von einander unterschieden werden, so ist es erklärlich, dass diese Bestimmung bei weitem nicht immer mit der gleichen Genauigkeit geschieht. Ausser der wechselnden Aufmerksamkeit und der Ermüdung sind in dieser Hinsicht zwei Einflüsse von Bedeutung: erstens die mehr oder minder feine Abstufung in den örtlichen Empfindungsverschiedenheiten und zweitens die Uebung. Je schärfer ausgesprochen

die qualitative Eigenthümlichkeit einer berührten Stelle ist im Vergleich zu benachbarten Punkten, mit um so grösserer Schärfe muss sie nothwendig erkannt werden; je mehr man sich ferner in der Unterscheidung verschiedener Eindrücke geübt hat, um so besser muss es gelingen, auch feinere Differenzen noch wahrzunehmen, die dem ungeübteren Beobachter entgehen, und dadurch den Ort der Empfindung mit immer grösserer Genauigkeit festzustellen.

Auf ähnliche Weise erklärt es sich leicht, dass bei diesen örtlichen Bestimmungen mannigfache Täuschungen vorkommen. Diese finden sich in bedeutendem Grade namentlich dann, wenn die Hautsensibilität durch irgend welche Einflüsse sich plötzlich verändert, so bei ganz gesunden Individuen, wenn die berührten Hauttheile durch die Einwirkung hoher Kälte- oder Wärmegrade einen Zustand vorübergehender Gefühlsstumpfheit angenommen haben, namentlich aber bei all' den Krankheiten, die mit Anästhesie oder auch mit Hyperästhesie der Haut verbunden sind. Hier wird dadurch, dass die von dem Orte des Eindruckes abhängigen Empfindungsqualitäten sich änderten, die Bestimmung dieses Ortes entweder ganz unmöglich oder aber irrthümlich, indem derselbe mit anderen Stellen von ähnlicher Empfindung verwechselt wird.

Wenn zwei gleichartige Eindrücke auf eine Hautstelle einwirken, so gestaltet sich die Sache je nach der Entfernung dieser Eindrücke verschieden. — Es giebt nämlich, wie wir wissen, ein gewisses Minimum der Entfernung, unter dem die Eindrücke nicht mehr geschieden werden, sondern in eine einzige, ungetrennte Wahrnehmung zusammenfliessen; dieses Minimum ist für verschiedene Hautstellen sehr verschieden, es ist identisch mit dem Durchmesser der sogenannten Empfindungskreise. Die Grösse der Empfindungskreise steht nun ganz wie die Schärfe der Ortsbestimmung des Eindruckes in einem constanten Verhältnisse zur mehr oder minder feinen Abstufung der örtlichen Empfindungsqualitäten. Je schärfer diese an zwei benachbarten Hautpunkten hervortritt, um so kleiner ist der Empfindungskreis, und ebenso umgekehrt. Hieraus folgt, dass zwei Eindrücke, die in einen und denselben Empfindungskreis fallen, nur dadurch in einen verschmelzen, dass das von dem Ort des Eindruckes abhängige Quale der Empfindung im Bereich dieses Empfindungskreises, d. h. auf einer Hautstrecke von bestimmter Grösse, von unmerklicher Verschiedenheit ist. Damit ist aber zugleich ausgesprochen, dass jenes Minimum der Entfernung durchaus kein unveränderliches ist; die Empfindungskreise sind, wie dies in

der That die Beobachtung zeigt, von äusserst veränderlicher Grösse; sie sind abhängig von der Aufmerksamkeit, von der Ermüdung und von anderen Zuständen des Tastorgans und endlich in sehr hohem Grade von der Uebung. Alle diese Verhältnisse müssen mit der Veränderung in der Feinheit der Auffassung von Empfindungsverschiedenheiten eine Veränderung in der Grösse der Empfindungskreise herbeiführen, denn diese ist ja nur der Ausdruck jener Feinheit der Unterscheidung und ein Maass für dieselbe.

Innerhalb eines Empfindungskreises können jedoch noch verschiedene Empfindungen zur Wahrnehmung kommen. Dies gilt von jenen Verschiedenheiten, die nicht von dem Ort, sondern von der Art des äussern Eindruckes abhängig sind. Setzt man z. B. von den zwei sich so genäherten Zirkelspitzen, dass sie nicht mehr räumlich getrennt werden können, die eine stärker, die andere schwächer auf, so ist die Empfindung eine ganz andere, als wenn man beide mit gleicher Stärke aufsetzt; man glaubt von einem Stabe berührt zu werden, der irgendwo einen grössern Druck ausübt, als an einer andern Stelle, aber über das räumliche Lageverhältniss beider Empfindungen bleibt man unsicher, obgleich man, in der Ueberzeugung, dass verschiedene Empfindungen nur von verschiedenen Eindrücken herrühren können, bestrebt ist, beide von einander zu trennen. Aehnlich verhält es sich bei der Einwirkung ungleicher Temperaturen innerhalb eines und desselben Empfindungskreises, wie dies schon Czermak beobachtet hat; auch hier wird man durch den Verstand fortwährend zu einer räumlichen Sonderung beider Eindrücke getrieben, ohne doch in der Empfindung selber hierzu einen bestimmten Anhaltspunkt zu bekommen; die Folge davon ist ein eigenthümliches Schwanken des Urtheils. — Es ergiebt sich somit, dass ein und derselbe Empfindungskreis zur Perception verschiedener Eindrücke, aber nicht zur Erkennung ihres räumlichen Lageverhältnisses geschickt ist; auch in ihm fliessen daher nicht alle Eindrücke in einen einzigen zusammen, sondern es können in ihm noch unräumliche Unterscheidungen stattfinden, die uns blos deshalb in Verlegenheit setzen, weil wir alle unsere Wahrnehmungen mittelst der Haut zu lokalisiren gewohnt sind; diese Gewohnheit zwingt uns auch hier, die Eindrücke in ein Lageverhältniss zu setzen, aber die Ueberlegung sagt uns zugleich, dass wir dieses Verhältniss nie sicher zu bestimmen vermögen. Dagegen fliessen stets Eindrücke, die nicht nur eine gleichartige Hautstelle treffen, sondern auch an und für sich gleich sind, zusammen. Alle qualitativ identischen

Empfindungen sind untrennbar für unsere Wahrnehmung.

Während Eindrücke von verschiedener Art oder Stärke, wenn sie in denselben Empfindungskreis fallen, die Ursache sind, dass eine Differenz wahrgenommen wird, wo sonst eine Verschmelzung stattfinden würde, ist bei örtlich entfernteren Eindrücken sehr oft gerade das Umgekehrte der Fall. So haben wir gesehen, dass, wenn man die Zirkelspitzen in einer Entfernung, in der sie bei gleichmässigem Aufsetzen deutlich geschieden zur Wahrnehmung kämen, mit ungleicher Stärke andrückt, der stärkere Eindruck den schwächeren oft zum Verschwinden bringt; und dies geschieht sogar um so leichter, je weiter beide Eindrücke örtlich von einander entfernt sind. Offenbar wird hier die gleichzeitige Wahrnehmung dadurch gestört, dass ausser der von dem Ort der Berührung auch noch die von der Art derselben abhängige Verschiedenheit zur Empfindung kommt. Es ist aber ein überall sich bestätigendes psychologisches Factum, dass jede Auffassung um so schwieriger wird, je zusammengesetzter sie ist, so dass sie bei einer gewissen Grenze nothwendig ihre Vollständigkeit verlieren und einen Theil des Empfindungsinhaltes vernachlässigen muss; der vernachlässigte Theil pflegt aber derjenige zu sein, der dem schwächeren Eindrucke seinen Ursprung verdankt.

Aehnlich verhält es sich, wenn die Zahl der räumlich geschiedenen Eindrücke eine gewisse Grenze überschreitet. Während zwei gleichartige Eindrücke, wenn sie in der gehörigen Entfernung einwirken, immer gleich deutlich wahrnehmbar sind, kommt es bei dreien schon öfter vor, dass einer derselben verschwindet; noch mehr ist dies bei vier Eindrücken der Fall, und wird die Zahl noch grösser, so wird ein Zusammenfassen und eine Angabe derselben häufig ganz und gar unmöglich. Wo sie aber möglich wird, da geschieht dies erst nach einiger Zeit: successiv werden die Vorstellungen der einzelnen Eindrücke dem Bewusstsein vorgeführt und dann erst alle zusammen zu einem Gesammtbild vereinigt, jede der zusammensetzenden Empfindungen muss zuerst einzeln aufgezählt werden, bevor ihre Summe zu einer gleichzeitigen, einheitlichen Wahrnehmung sich verbindet. Uebersteigt diese Summe eine gewisse Zahl, die verschieden ist nach der grösseren oder geringeren Aufmerksamkeit, so entsteht entweder eine verlegene und resultatlose Unentschiedenheit, oder einige der stattfindenden Eindrücke werden geradezu vernachlässigt und daher ihre Summe kleiner angegeben, als sie in Wirklichkeit ist.

Betrachten wir den Fall, wo nur zwei Eindrücke stattfinden, näher, so zeigt es sich, dass auch hier die gleichzeitige Wahrnehmung nicht so plötzlich geschieht, als dies auf den ersten Blick scheinen mag, und vollends zur deutlichen Vorstellung ihrer Entfernung ist schon ein ziemlich zusammengesetzter psychologischer Vorgang erforderlich. Selbst bei nur zwei Eindrücken lehrt uns die Selbstbeobachtung, dass zuerst der eine, dann der andere und dann erst ihre Zweiheit zur Wahrnehmung kommt; auch hier gewinnen wir also die Summe erst durch Aufzählen des Einzelnen, und dieser Act des Aufzählens fällt sogar in's Bewusstsein, aber er ist bei einer so geringen Zahl von Eindrücken so schnell beendet, dass uns die zwei Empfindungen alsbald mit einander gegeben zu sein scheinen, und dass es nur der aufmerksamsten Selbstbeobachtung gelingt, die Seele noch zu erhaschen, während sie das Getrennte zum Ganzen zusammenfügt.

Mit jeder einzelnen Empfindung verbindet sich unwillkürlich die Vorstellung des Ortes, an welchem sie stattfindet. Sobald die zwei Empfindungen als gleichzeitige in der Wahrnehmung sind, so ist daher auch schon eine dunkle Vorstellung von der Hautstrecke, welche die Eindrücke umfassen, gegeben; dadurch werden eben die Eindrücke sogleich als räumlich geschiedene aufgefasst. Aber über die Grösse ihrer räumlichen Trennung lässt noch durchaus nichts Bestimmtes sich aussagen, denn dazu ist jene Vorstellung eine allzu undeutliche. Gewöhnlich erst wenn man durch eigenen oder fremden Antrieb sich zur messenden Schätzung entschliesst, wird ein klareres Bild des ganzen Körpertheils und der berührten Punkte geweckt, und damit ist erst die bestimmte Vorstellung des Zwischenraums gegeben, der sich zwischen den Eindrücken befindet. Auch hier, wie bei der einfachen Bestimmung des Orts der Berührung, sind es die vorausgegangenen Erfahrungen des Gesichtssinnes, die der Einbildungskraft das Bild jenes Zwischenraums liefern; beim Blindgeborenen wird ohne Zweifel statt dessen die Erinnerung an die Muskelgefühle geweckt, die der Betastung jeder einzelnen Stelle vorangingen, und die Verschiedenheit in dem Grade dieser Gefühle giebt ein Maass ab für die Entfernung der Eindrücke. — Wie sehr die öftere Controle durch's Auge, die Tastbewegungen der empfindenden Theile sowie die Uebung auf diese Schätzungen von Einfluss sein müssen, bedarf hiernach keiner Erklärung mehr. Alles, was in dieser Hinsicht sich ableiten liesse aus dem, was wir über die ganze Entstehung unserer räumlichen Messungen mit dem Gefühlssinne kennen lernten, hat früher der Versuch uns bestätigt.

Die Zergliederung der örtlichen und räumlichen Wahrnehmungen mittelst der Haut zeigt uns, dass dieselben nicht unmittelbar mit der Empfindung gegeben sind, sondern dass zwischen der Empfindung und ihrer Wahrnehmung ein psychischer Vorgang noch in der Mitte liegt. Bei der Wahrnehmung des Ortes, an dem ein Eindruck stattfindet, geschieht die Ortsbestimmung erst durch die nothwendige Verknüpfung des Quale der Empfindung mit der durch den Gesichtssinn oder das Muskelgefühl von früher her gegebenen Vorstellung. Bei der Wahrnehmung der Entfernung, die zwischen zwei Eindrücken befindlich ist, wird die Seele dadurch, dass sie zwei verschiedene Ortsempfindungen wahrnimmt, gezwungen, einen Zwischenraum zwischen dieselben zu setzen und diesen Zwischenraum aus der gleichfalls durch den Gesichtssinn oder durch Muskelgefühle gegebenen Erfahrung sich vorzustellen. Der psychische Vorgang, der bei dieser Sinneswahrnehmung statt hat, ist demnach überall ein und derselbe, er ist derselbe, mag die Wahrnehmung eine einfachere sein, wie die blosse Ortswahrnehmung, oder eine zusammengesetztere, wie die räumliche Flächenwahrnehmung; nur wiederholt sich hier derselbe Process, der dort nach einmaligem Ablauf die Wahrnehmung fertig macht, mehrmals nach einander. Dieser Process ist ein unbewusster, und es lässt nur aus den Momenten, die in's Bewusstsein fallen, sich auf ihn schliessen. Wenn wir aber, jene unbekannten Glieder ergänzend, in's Bewusstsein ihn übersetzen, so nimmt er die Form des Schlusses an. Der unbewusste Schluss ist der Vorgang, der an die Sinnesempfindung sich anreiht, und nach dessen einfachem oder öfterem Ablauf sie erst zur Wahrnehmung wird.

Zweite Abhandlung.

Zur Geschichte der Theorie des Sehens.

1. Plato und Aristoteles.

Die historische Entwicklung der Theorie des Sehens ist deshalb von besonderem Interesse, weil die Ansichten, die zu verschiedenen Zeiten über das Wesen der Gesichtswahrnehmungen geherrscht haben, meistens im innigsten Zusammenhang stehen mit der Art der Naturbetrachtung überhaupt, ja mit der ganzen philosophischen Weltanschauung.

Bei jeder Sinneswahrnehmung kommt nothwendig ein Objekt, das Gegenstand der Wahrnehmung ist, und ein Subjekt, das die Wahrnehmung vollzieht, in Betracht, und dieser Gegensatz eines objektiven und subjektiven Momentes macht auch in der Geschichte der Theorie des Sehens sich geltend, indem bald das eine bald das andere ausschliesslich oder in überwiegendem Maass in den Vordergrund tritt, und nur einem fortgeschrittenen Standpunkte gelingt es zuweilen beide Momente in der Theorie zu vereinen. Jede ursprüngliche naive Auffassung der Erscheinungen ist eine vollkommen objektive, für die Sein und Erscheinung zusammenfallen, später erst sucht die sich abschliessende Spekulation Alles aus dem empfindenden Subjekte herauszuentwickeln, und erst zuletzt erhebt sich über diese Gegensätze der gereiftere Gesichtspunkt, der sie zur Versöhnung bringt.

Dieser Entwicklungsgang wiederholt sich, wie es scheint, mehrmals in der Geschichte, aber jeder folgende Cyklus ist insofern wieder ein neuer, als er durch neue Erkenntnissmomente seinen Anstoss erhält und dieselben in sich aufnimmt.

So findet der dem unmittelbaren Eindruck sich hingebende Naturalismus der alten griechischen Naturphilosophen sein Seitenstück in der Denkweise jener Koryphäen der Naturforschung, die im Mittelalter den Aufschwung der physischen Wissenschaften begründeten; beiden gilt nur das Objective der Erscheinungen, freilich ist dieses Objektive jenen bloss der rohe sinnliche Eindruck, diesen die in ihrem ursächlichen Zusammenhang erforschte und geprüfte Wahrnehmung. Im Alterthum setzte sich dem ursprünglichen Realismus bald der Idealismus der eleatischen Schule entgegen, und aus beiden entwickelten sich die für jene Zeit abschliessenden Anschauungen des Plato und Aristoteles. Im Mittelalter machte sich neben dem Empirismus der Naturforscher, der in Locke und dessen Nachfolgern seine philosophischen Vertreter fand, ein durch Leibnitz und namentlich Berkeley auf die Spitze getriebener absoluter Subjektivismus geltend, und erst in späterer Zeit gelang es Kant durch die Schärfe seiner philosophischen Kritik, die Unhaltbarkeit beider Anschauungen darzuthun und selber einen Weg einzuschlagen, der die Forderungen des reinen Denkens mit der äussern Erfahrung zu versöhnen schien.

Bei den griechischen Naturphilosophen, die theilweise noch in mythischer und poetischer Form ihre Ideen vortragen, geht das empfindende Subjekt vollständig in der äussern Anschauung auf, und wo eine Wahrnehmung von einem Wahrgenommenen unterschieden wird, dageschieht dies nur, um zuletzt wieder beide ihrem Wesen nach identisch zu setzen. Alle Begriffe bewegen sich in den Gegensätzen von Licht und Dunkel, Warm und Kalt, Trocken und Feucht, und diese unmittelbar aus der Anschauung abstrahirten Kategorieen sind zugleich die wesentlichen dem Auge zukommenden Eigenschaften, durch welche dieses zur Auffassung der Aussenwelt befähigt wird. Am weitesten scheint diese sensuale Seite der Naturbetrachtung unter den Naturphilosophen von Empedokles[1]) ausgebildet worden zu sein: in allen Körpern und im Auge selber befinden sich Poren, aus denen Ausströmungen stattfinden, und die Begegnung dieser Ausströmungen macht die Gesichtswahrnehmung; beim Sehen paaren sich also ein Objektives und ein Subjectives, die selber wiederum unter sich identisch sind, denn das Auge enthält wie die äusseren Körper in sich die Gegensätze des Feuers und Wassers, aus deren Mischung Licht und Schatten und die Mannigfaltigkeit der Farben hervorgeht.

[1]) Vergl. Aristoteles, de sensibus, c. 2.

In dieser einfachsten Theorie der Wahrnehmung die sich damit befriedigt, dass sie das Sehende und das Gesehene sich gleich setzt, waren nur die Qualitäten der Empfindung berücksichtigt, sie hatte sich noch nicht zur Abstraktion des Raumbegriffs erhoben. Diese Abstraktion vollzogen die Atomistiker, die dem reinen Quale der Naturphilosophen gegenüber das Princip der Quantität in der Theorie der Erscheinungen vertreten.

Dem Demokritos[1]) sind alle Körper aus der Qualität nach einartigen, durch leeren Raum getrennten Atomen zusammengesetzt; auch die Seele besteht ihm aus Atomen, und eine Vorstellung kann in ihr nur entstehen, indem die Gegenstände ihres Vorstellens sich mit ihr vereinigen, indem also von den Objekten Ausflüsse oder Bilder sich ablösen; diese Bilder treffen das Auge, und erst aus ihnen gewinnt die Seele die Vorstellung einer Aussenwelt mit qualitativen Verschiedenheiten. Alle Qualität ist daher eine subjective, Licht und Dunkel und die Verschiedenheiten der Farben beruhen nur auf bestimmten Formen der Atome.

So nahmen die Naturphilosophen ausschliesslich auf die qualitative, die Atomisten auf die quantitative Seite der Erscheinungen Rücksicht, aber beide blieben in der unmittelbaren sinnlichen Empfindung befangen und unterschieden noch nicht ein über dieselbe sich erhebendes Denkvermögen, Empfindung und Vorstellung fielen daher bei ihnen in Eines zusammen. Die Vorbereitung zum Vollzug dieser Scheidung geschah durch die Eleaten, die ebenso einseitig die innere, wie jene die äussere Erfahrung in Rücksicht zogen, und die daher, wenn sie sich konsequent blieben, die ganze Sinnenwelt für eine Welt des Scheins erklärten und nur der auf Schlüssen beruhenden Vernunfterkenntniss Realität und Wahrheit zugestanden. Bei einer derartigen Denkrichtung ist natürlich an eine Theorie der Gesichtswahrnehmungen nicht zu denken; aber die eleatische Schule mit ihrer vermeintlichen Vernunfterkenntniss gab den nächsten Anstoss zu der eine neue Epoche der Philosophie begründenden sokratischen Kritik, aus der die zwei auch für unsern Gegenstand bedeutendsten Denker des Alterthums hervorgingen, Plato und Aristoteles.

Plato[2]) bestimmte zuerst die sinnliche Wahrnehmung als eine Wechselwirkung zwischen Objekt und Subjekt, indem er sie die Mitte nennt, in welcher die von beiden ausgehenden entgegengesetzten Bewegungen sich begegnen. Sie ist ihm

1) Ebendaselbst.

2) Theaetetes, Philebos und Timaeos.

weder wie dem Eleaten Parmenides ein leerer Schein noch wie den Sensualisten, die er in Protagoras bekämpft, mit dem Wissen identisch, sondern sie enthält nur die erste Stufe der Erkenntniss. So gelangt beim Akt des Sehens die Sehkraft des Auges erst durch die Einwirkung einer Farbe zur Wirklichkeit, und umgekehrt existirt ein Objekt für uns nur dadurch, dass es durch seine Farbe wahrnehmbar wird. Alle Gesichtsempfindung ist daher dem Plato Farbenempfindung, die Farben sind die dem Auge entsprechenden Ausflüsse der Dinge. Unsere Seele nimmt aber weder das Object noch die Farbe an sich wahr, sondern ein Gefärbtes, und zu Vorstellungen gelangt sie nur, indem sie dieses vermittelst ihres Denkvermögens beurtheilt. Darum kann im Gebiete der Empfindung von Wahrheit und Falscheit noch nicht die Rede sein; jede Empfindung ist eine wirkliche Affektion unserer Seele durch das Sinnliche und als solche eine wahre, erst indem die Seele auf die Empfindung richtige oder unrichtige Urtheile gründet, gelangt sie dem entsprechend zu richtigen oder unrichtigen Vorstellungen.

Diese nur gelegentlich ausgesprochenen Gedanken, die sich namentlich im Theaetet vorfinden, sind das Wichtigste was Plato über Sinneswahrnehmung geschrieben hat. Zwar ist dieser Denker später im Timaeos, jenem merkwürdigen mehr poetischen als philosophischen Werk, in dem anscheinend der Mangel der Erkenntnisse, zu denen Erfahrung und Spekulation nicht genügend sind, durch Schöpfungen der Phantasie ersetzt wird, noch einmal auf die Bildung der Gesichtsvorstellungen zurückgekommen, aber es geschieht dies in derselben mythisch-poetischen Weise, die in diesem ganzen Dialog vorherrscht, und die zu den abstrakten Begriffsentwicklungen im Theaetet einen scharfen Gegensatz bildet. „Unter den Sinneswerkzeugen bildeten die Götter zuerst die lichtvollen Augen Ihrer Weisheit nach sollten diese zu einem Körperlichen werden, welches von dem Feuer die Eigenschaft des Brennens nicht besässe, wohl aber die Erzeugung des milden, der Milde des Tages stets eigenthümlichen Lichtes Umgiebt nun des Tages Helle das den Augen Entströmende, dann vereinigt sich dem Aehnlichen das hervorströmende Aehnliche und bildet in der geraden Richtung der Sehkraft aus Verwandtem da ein Ganzes, wo das von innen Herausdringende dem sich entgegenstellt, was von aussen her mit ihm zusammentrifft.“ Im Wesentlichen giebt diese Stelle des Timaeos in poetischer Form die bereits im Theaetet ausgesprochene Ansicht von einer Wechselwirkung des Subjekts und Objekts beim Sehakte

wieder, ebenso war dort schon eine innere Uebereinstimmung zwischen den Farbenausflüssen der Dinge und dem Sehorgan vorausgesetzt worden. Aber indem Plato im Timäos das was er früher auf seine abstrakte Form gebracht hatte wieder versinnlicht, kehrt er selbst gewissermassen noch einmal zurück auf die von ihm überwundene ganz im Sinnlichen befangene Anschauungsstufe der frühern Naturphilosophen[1]. Man irrt jedoch, wenn man, wie dies häufig geschieht, hiernach den ganzen Standpunkt des Plato beurtheilt und ihn desshalb geradezu mit den Naturphilosophen zusammenstellt. Plato ist im Gegentheil der Erste gewesen, der scharf die Grenze zog zwischen der Sinnlichkeit und dem Bereiche des Denkens, indem er die Unterscheidung eines Empfindungs- und Denkvermögens klar aussprach, dadurch das er die dem Sinnlichen zugehörende Empfindung und die rein in das seelische Gebiet fallende Bildung von Vorstellungen aus der Empfindung sich gegenüberstellte. — Noch ein Schritt fehlte dem Plato, um für den Stand damaliger Erfahrung einen Abschluss herbeizuführen: Empfindung und Vorstellung hatte er getrennt, aber die zwischen beiden liegende Wahrnehmung fiel bei ihm noch mit der Empfindung zusammen. Diesen letzten Schritt, die Unterscheidung und Analyse der Wahrnehmung, vollzog Aristoteles, und damit ging dieser Denker weit hinaus über die Philosophie seiner Zeit und seines Volkes, dessen Sprache nicht mehr genügte, um dem neuen Begriff einen Ausdruck zu geben.

Bei des Aristoteles Theorie des Sehens[2] müssen wir wohl unterscheiden zwischen seinen nothwendig mangelhaften physikalischen Anschauungen und seinen noch jetzt kaum übertroffenen psychologischen Beobachtungen; die Psychologie ist bis zum heutigen Tage so sehr eine Wissenschaft der Selbstbeobachtung geblieben, dass es nichts Unerklärliches hat, wenn ein einziger Mann hierin schon vor Jahrtausenden beinahe zum Ende gelangt ist.

In physikalischer Beziehung verwirft Aristoteles sowohl das Demokrit Ansicht vom Sehen, wornach dasselbe durch Bilder, die von den Gegenständen sich ablösten, zu Stande komme, wie die Meinung des Empedokles, die auch im

[1]) Es kann deshalb dem Aristoteles nicht verargt werden, dass er in seiner Kritik der ihm vorausgegangenen Empfindungstheorien die Ansichten des Empedokles und des Plato im Timäos als gleiche betrachtet, aber es ist auffallend, dass er die von Plato anderweitig geäusserten Ansichten gänzlich unerwähnt lässt.

[2]) De sensibus, de anima (vergl. bes. l. II. c. 5—8) und de coloribus.

Timäos sich findet, beim Sehen paare sich ein äusseres mit einem inneren Lichte. Dass das Licht nicht in Ausflüssen der Objekte bestehe, glaubt Aristoteles dadurch bewiesen, dass es keiner Zeit zu seiner Fortpflanzung bedürfe; dass das Sehen ebensowenig in Lichtausströmungen des Auges bestehe, gehe daraus hervor, dass wir im Dunkeln nicht sehen; beide Ansichten erklärten endlich nicht, warum wir die Objekte nicht wahrnehmen, wenn wir sie unmittelber auf das Auge legen [1]).

Damit ein Sehen zu Stande komme, müsse nothwendig Objekt und Sehorgan durch Etwas getrennt sein, und zwar durch etwas Durchsichtiges. Aber dieses Durchsichtige ist nicht an und für sich und unter allen Umständen durchsichtig, denn wir sehen erfahrungsgemäss nur, wenn es erleuchtet wird; Aristoteles unterscheidet daher das Durchsichtige als potentielles und als aktuelles, das potentiell Durchsichtige ist Dunkelheit, und die Thätigkeit des Durchsichtigen als solchen ist Licht. Bisweilen schreibt Aristoteles auch das Licht der Anwesenheit des Feuers oder Aethers im Durchsichtigen zu, aber er bemerkt ausdrücklich, dass dasselbe nicht als etwas Körperliches zu betrachten sei, sondern dass es eben in dem Aktuellsein des Durchsichtigen bestehe. Aristoteles kommt also durch die induktive Zergliederung der Erscheinungen zu dem Schlusse, dass das Licht weder vom Sehorgan noch vom gesehenen Gegenstand, sondern von dem zwischen beiden befindlichen durchsichtigen Zwischenmedium ausgehe. Aber das Durchsichtige ist überall verbreitet, es befindet sich sowohl in den äussern Gegenständen als im Auge; in jenen erzeugt es mit Undurchsichtigem gemischt die Farben, in diesem ist es die nothwendige Bedingung, dass der Sehakt zu Stande komme, denn wenn das Auge nicht durchsichtig wäre, so könnte das äussere Licht nicht zu ihm gelangen, und insofern muss allerdings auch dem Auge ein feuriges innewohnen, aber unrichtig ist es, wenn man weiter annimmt, dass beim Sehakte ein inneres und ein äusseres Feuer sich begegnen, sondern jenes muss gewissermassen erst durch dieses geweckt werden, Empfindendes und Empfindbares sind nicht

[1]) Von den subjektiven Lichterscheinungen, die bei heftigerem Druck auf's Auge entstehen, giebt Aristoteles folgende sinnreiche Erklärung. Das Auge erzeugt nach seiner weiter unten angeführten Ansicht wie alles Durchsichtige Licht, gewöhnlich aber sieht es nicht sich selber, wird es jedoch schnell gedrückt, so entstehen aus dem einen Auge gleichsam zwei, und der eine Theil sieht den andern.

mit einander identisch, sondern das Empfindende ist potentiell ein solches wie das Empfindbare der Wirklichkeit nach.

Das Auge enthält demnach wie das äussere Durchsichtige und wie alle Körper in sich die Gegensätze der Dunkelheit und des Lichtes. Luft und Wasser sind nun die hauptsächlichsten durchsichtigen Mittel; das Durchsichtige des Auges muss, da es keine Luft enthält, das Wässrige sein; Aristoteles nennt daher das Auge zusammengesetzt aus Feuer und Wasser. Beide bilden den Gegensatz von Licht und Dunkel, der somit sowohl objektive als subjective Bedeutung hat.

Licht und Dunkel bilden als Weiss und Schwarz die zwei Grundfarben, aus deren verschiedener Vermischung die ganze Mannigfaltigkeit der übrigen Farben hervorgeht. Aristoteles ist unschlüssig, ob er sich diese Vermischung mehr als eine wahre Verschmelzung oder mehr als ein atomistisches Ueber- oder Nebeneinanderliegen denken soll, er scheint sich jedoch mehr zu der atomistischen Ansicht hinzuneigen, indem er die Vermuthung ausspricht, dass denjenigen Farben, die unsern Augen einen angenehmen Eindruck machen, ähnlich wie den Akkorden in der Musik wohl bestimmte regelmässige Zahlenverhältnisse entsprechen möchten.

In optischer Hinsicht ist noch ein bedeutender Fortschritt des Aristoteles gegenüber seinen Vorgängern die genaue Kenntniss der Reflexion des Lichtes. Als Ursache betrachtet er gleichfalls das Durchsichtige, namentlich Wasser und Luft [1], insofern dasselbe zugleich das Glatte und Glänzende ist. Jede Reflexion ist aber zugleich Schwächung des Lichtes und als solche bewirkt sie das Schwarze, das mit dem Lichte gemischt die Farben erzeugt. Durch die Reflexion allein erklärt es sich, dass in einem und demselben Durchsichtigen Licht und Dunkel neben einander bestehen und daher überhaupt Farben entstehen können. Diese Erklärung der Farbenentstehung hat nun gleichfalls wieder sowohl objektive als subjektive Bedeutung. Denn auch von dem Glatten des Auges wird das Licht reflektirt und dadurch Dunkel hervorgebracht, das mit dem Licht sich zur Farbe verbindet. Immer liegt somit der Farbe eine Bewegung zum Grunde, und dieselbe Bewegung ist es, durch die im Objekt die Farbe entsteht, und durch die das Subjekt die Farbe empfindet. Das zwischen beiden befindliche Durchsichtige überträgt gleichsam die Bewegung, denn indem es von der Farbe erregt wird, erregt es seinerseits wieder das Auge, und es zeigt sich hierin das Auge verwandt dem

[1] Die Luftspiegelung war dem Aristoteles bereits bekannt.

äusseren Durchsichtigen: beide verhalten sich leidend und werden thätig, indem sie leiden, beide leiden vom Gleichen und auch vom Ungleichen, denn es leidet was ungleich ist, nachdem es aber gelitten hat ist es gleich.

Wir wenden uns jetzt zu des Aristoteles psychologischer Untersuchung der Sinne. Er theilt in dieser Hinsicht das Empfindbare überhaupt ein in Solches, was einem besonderen Sinne entspricht, wie Farben, Töne, Gerüche u. s. w., und in Solches, was allen Sinnen gemeinschaftlich ist, wie Bewegung, Ruhe, Zahl, Gestalt, Ausdehnung. Beides nennt er auch an und für sich empfindbar und unterscheidet davon noch das nebenbei Empfindbare. Das nebenbei Empfinden ist nun nach des Aristoteles Definition dasselbe, was wir jetzt als Wahrnehmen bezeichnen, er nennt es nämlich erst durch eine Schlussfolgerung mit der reinen Empfindung verknüpft, wie z. B. wenn wir eine Farbe empfinden und daraus schliessen auf das Vorhandensein einer Person oder Sache.

So hatte Aristoteles in Wirklichkeit die Scheidung zwischen Empfindung und Wahrnehmung ihren Hauptgrundzügen nach schon vollführt, wenn gleich er beide noch dem Wort nach zusammenfasste und als αἴσθησις von dem eigentlichen Denkvermögen streng unterschied. Empfinden und Denken, sagt er, sind beide gewissermassen ein Leiden, beide setzen ein Erregtwerden als Ursache voraus, dort aber ist, was die Thätigkeit hervorbringt, ein Aeusserliches, das auf das Einzelne, hier ein Innerliches, das auf das Allgemeine geht. Empfinden und Denken sind ferner dadurch von einander verschieden, dass zu denken in eines Jeden Willkür steht, nicht aber zu empfinden, sondern es muss Empfindbares vorhanden sein, damit eine Empfindung zu Stande komme.

Aber des Aristoteles Scharfblick blieb sogar dabei nicht stehen, dass er die psychische Natur des Wahrnehmungsaktes erklärte, schon in der reinen Empfindung erkannte er eine Art von psychischer Thätigkeit, ein Schritt, in dem ihn vielleicht erst die empirische Forschung unserer Tage einzuholen beginnt, und den man, weil man ihn nicht verstand, meistens ganz übersehen hat. Aristoteles hebt nämlich neben der passiven Wirkung des Gesichtssinnes noch eine aktive Wirkung desselben hervor, von dieser eigenen Thätigkeit des Sinnes bei der Empfindung sagt er, sie liege dem Geistigen nahe, denn, indem sie verschiedene Dinge erkenne, urtheile sie gewissermaassen über die Gegensätze der äussern Objekte; er nennt daher die Empfindung auch die urtheilende

Mitte, welche die Gegensätze des Empfindbaren potentiell in sich enthalte.

2. Die Naturforscher des Mittelalters.

Die späteren Griechen und die Römer haben in der Theorie der Sinne, wie fast in allen Wissensgebieten, nichts Selbständiges geleistet; auch in den ersten anderthalb Jahrtausenden christlicher Zeitrechnung lehnt sich die Philosophie, soweit sie überhaupt gepflegt wird, nur an die griechische an. Vor Allem sind es hier Plato und Aristoteles, deren Anschauungen fast unverändert, doch oft missverstanden sich fortpflanzen, und durch deren ausschliesslichen Cultus die Gelehrten in zwei häufig feindlich gegenüberstehende Parteien sich sondern. Auch über den Vorgang des Sehens blieben die Lehren jener beiden Männer durch einen grossen Theil des Mittelalters hindurch die allein maassgebenden; aber diese Lehren erhielten sich nicht in ihrer Ursprünglichkeit, sie wurden nicht verbessert, aber verunstaltet, ihr geistiger Gehalt wurde auf's Gröbste versinnlicht. So nahmen die Platoniker die Lichtausflüsse des Auges als eine wirkliche Thatsache an, die Aristoteliker fassten ein gelegentlich hingeworfenes Gleichniss des Aristoteles, in dem er den sinnlichen Eindruck mit dem Eindruck vergleicht, den das Siegel im Wachse hervorbringt, als dessen Hauptlehre auf; und so bildeten sich zwei philosophische Schulen, deren eine den Sehakt aus den Lichtausströmungen des Auges, deren andere ihn aus den Lichtausströmungen der Gegenstände erklärte. Erst als im 16. Jahrhundert unter dem Schutze alchymistischer Geheimlehren die ersten Spuren der Naturforschung sich regten, begannen auch hier selbstständige Anschauungen sich geltend zu machen, die zwar zunächst noch an die Alten sich anlehnten, die aber schon den Keim einer künftigen Befreiung in sich trugen.

Zunächst führten nämlich die ersten rohen Versuche, die mehr zufällig als absichtlich über die Eigenschaften des Lichtes angestellt wurden, zu einem Sieg des Aristotelischen über das Platonische Prinzip. Denn als Joh. Bapt. Porta in seiner Magia naturalis [1]), einem in historischer Hinsicht höchst interessanten, für das Jahrhundert charakteristischen Werke, das neben den abenteuerlichsten Zauberrecepten die wichtigsten physikalischen Entdeckungen in sich birgt, die

[1]) Magia naturalis sive de miraculis rerum naturalium. Antwerp. 1560.

camera obscura beschrieb und zeigte, dass die geradlinigt von den Gegenständen ausstrahlenden Bilder derselben sich objektiv darstellen lassen, als man weiterhin die Beobachtung machte, dass im Auge beim Sehen ein ähnliches Bild wie in der dunkeln Kammer sich bilde[1]), da schien in der That für den unparteiisch Denkenden kein Zweifel mehr an der Richtigkeit jener Ansicht zu walten, die das Sehen dadurch erklärte, dass von den Gegenständen Bilder sich ablösten und ins Auge gelangten. Schon Porta hatte die Vergleichung des Auges mit der camera obscura durchgeführt, aber er glaubte, das Bild entstehe auf der hintern Fläche der Krystalllinse, und er hielt desshalb diese für das empfindende Organ, ein Irrthum, der bald durch Kepler aufgeklärt und für alle Zeiten widerlegt wurde.

Dieser grosse Naturforscher hat sich mit der Physiologie des Sehens mit besonderer Vorliebe und an mehreren Stellen seiner Werke beschäftigt[2]); er ist der Schöpfer der physiologischen Optik, in der er vor beinahe drei Jahrhunderten schon weiter gewesen ist, als die Physiologen vor wenig mehr als einem Decennium, auch in der Theorie der Empfindung und Wahrnehmung hat er für den Standpunkt seiner Zeit Ausgezeichnetes geleistet, namentlich gebührt ihm hier das Verdienst, der Erste gewesen zu sein, der von dem Joch der Alten sich vollständig befreite, um rein auf dem Weg der Erfahrung und Beobachtung zu einer selbstständigen Erklärung der Erscheinungen zu gelangen. So wird für unsern Gegenstand durch Kepler jenes Zurückgehen zur Empirie und zur induktiven Erforschung der Wahrheiten repräsentirt, das damals in den verschiedensten Wissensgebieten die grössten Naturforscher aller Zeiten als seine Vertreter fand, und das man an den einen Namen des gleichzeitigen Philosophen Baco zu knüpfen pflegt.

Kepler schickt seinen eigenen Ansichten eine Polemik gegen Aristoteles voraus, die zwar von einem richtigeren Verständniss der Schriften dieses Philosophen zeugt, als gewöhnlich bei den Aristotelikern selber vorhanden war, die aber nur die, nothwendig unvollkommenen, physikalischen Momente in der Aristotelischen Erklärung in Betracht zieht, während sie das Psychologische in derselben ganz über-

[1]) Direkt beobachtet wurde dieses Bild erst später, zuerst durch Scheiner. (Oculus, sive fundament. opticum. Lond. 1652. p. 176).

[2]) Astronomiae pars optica, Francof. 1604. Cap. V. et appendix ad Cap. I. Dioptrice. August. Vind. 1611. Prop. 57—66.

sieht. Kepler kehrt sich vorzugsweise gegen die von Aristoteles gegebene Definition des Lichtes als einer Thätigkeit des Durchsichtigen als solchen, von der er sagt, dass sie nicht das Wesen des Lichtes treffe, sondern nur seine Erscheinung, insofern sie beim Sehen in Betracht komme; der Begriff des Durchsichtigen selber werde ferner von Aristoteles nicht definirt, sondern nur umschrieben; ein Unterschied zwischen Licht und Farbe, wie ihn jener mache, sei endlich nicht statthaft, denn die Farbe selber spende Licht. Kepler glaubt, dass Aristoteles zu seinem Irrthum hauptsächlich durch die Thatsache veranlasst wurde, dass wir Gegenstände, die unmittelbar das Auge berühren, nicht sehen, indem er sich hierdurch auf die Nothwendigkeit der Anwesenheit eines Zwischenmediums beim Sehen zu schliessen genöthigt sah. Kepler beseitigt nun dieses Bedenken, indem er nachweist, dass bei allzu grosser Nähe der Gegenstände ein deutliches Sehen vor allem aus Gründen, die in der Struktur des Auges liegen, nicht stattfinden könne. Aber selbst angenommen, sagt Kepler, Licht und Farbe beständen in einer Thätigkeit des Durchsichtigen, so müsste doch das Durchsichtige durch irgend Etwas zu dieser Thätigkeit angeregt werden, und dieses Etwas könne man sich nicht anders, denn als einen von dem leuchtenden Körper geschehenden Ausfluss vorstellen. Dass jedoch das Durchsichtige an den Licht- und Farbeerscheinungen in der That gar keinen Antheil habe, gehe daraus hervor, dass seine wesentliche Eigenschaft eben die sei, nicht gesehen zu werden, und dass es diese Eigenschaft in um so höherem Grade verliere, dass es um so undurchsichtiger werde, je mehr es gefärbt sei.

So gelangt Kepler schon auf dem Weg der Kritik zu der Ansicht: Licht und Farben sind Ausströmungen der leuchtenden und farbigen Gegenstände; dass diese Ansicht die wahre sei, glaubt er aber überdies positiv durch den Versuch Porta's, den er zuerst physikalisch erklärt, sowie überhaupt durch die Thatsachen der ganzen Dioptrik erweisen zu können. Beim Sehen erzeugen diese Ausströmungen im Auge ähnlich wie in der camera obscura ein verkehrtes Bild der Objekte. Dass der Ort dieses Bildes nicht die Krystalllinse oder die Chorioidea, wie Manche geglaubt hatten, sondern die Netzhaut ist, zeigt Kepler, indem er den optischen Nachweis liefert, dass in dieser Membran der Brennpunkt für nahezu parallel in die Pupille einfallende Strahlen gelegen ist, dass also auf ihr allein ein deutliches Bild der Objekte entstehen

kann. Dieses Bild soll, indem es die vom Gehirn herabsteigenden Nervengeister in Bewegung setzt, unmittelbar die Gesichtsvorstellungen hervorrufen. Aus dem Umstand, dass wir ferne und nahe Gegenstände gleich deutlich wahrzunehmen vermögen, schloss Kepler bereits, dass im Auge ein Anpassungsvermögen für Ferne und Nähe bestehen müsse, von dem er glaubte, dass es zu Stande komme, indem die Krystalllinse sich der Retina nähere oder von ihr entferne, er vermuthete, dass der Ciliarmuskel diese Accomodationsbewegungen vermittle. Dem Sehen mit zwei Augen schreibt er den Vortheil einer grösseren Deutlichkeit zu; dass wir mit beiden Augen nur einfach sehen, erklärt er aus der Vereinigung beider Sehnerven, übrigens ist ihm auch das Doppeltsehen wohl bekannt, und mit Rücksicht darauf giebt er an einer andern Stelle (Dioptr. prop. 62) eine abweichende Erklärung, er sagt nämlich: wir sehen einfach, wenn unsere beiden Netzhäute auf gleiche Weise erregt werden, wir sehen doppelt, wenn dieselben verschieden erregt werden. Eigenthümlich ist die Erklärung, die Kepler davon giebt, dass wir trotz der Verkehrtheit des Retinabildes die Gegenstände aufrecht wahrnehmen, er meint nämlich, da beim Sehakt die Ausstrahlung der Bilder von den Gegenständen das Aktive und das Sehen selber das Passive, Thätigsein und Leiden sich aber entgegengesetzt sei, so müsse auch das Bild im Auge dem äussern Gegenstand entgegengesetzt sein, damit jenes diesem entspreche. Was die Bestimmung der Grösse der Objekte betrifft, so schliesst Kepler, da das Retinabild immer viel kleiner, als der ihm correspondirende Gegenstand bleibt, dass wir aus jenem Bild noch nicht unmittelbar dieselbe bestimmen können, sondern er stellt den Satz auf, dass, erst wenn uns die Entfernung eines Gegenstandes bekannt ist, wir die Grösse desselben dem Gesichtswinkel, unter dem er erscheint, proportional setzen; wie wir aber zu einem Maass der Entfernung gelangen, darüber findet sich bei Kepler keine Angabe.

Durch Kepler's optische Untersuchungen schien vor Allem die wichtige Thatsache unumstösslich festgestellt, dass die Netzhaut die lichtempfindende Membran des Auges sei. Nichts desto weniger erhob sich gerade gegen diese Thatsache bald ein Widerspruch, der auf Beobachtungen gegründet war, die ihrerseits zweifellos schienen und die, indem sie die ganze Kepler'sche Theorie wieder in Frage stellten, die Veranlassung wurden, dass über diesen Gegenstand noch längere Zeit eine Unsicherheit und Verschiedenheit der Meinungen

herrschte. Mariotte[1]) entdeckte nämlich, dass in der Netzhaut ein bestimmter Fleck, der der Eintrittsstelle des Sehnerven entspreche, vorhanden sei, an dem keine Lichtempfindung stattfinde. Mariotte schloss hieraus, dass nicht die Netzhaut, sondern die Aderhaut die lichtempfindende Membran sei. Diese Ansicht, glaubt er, werde überdies sowohl dadurch unterstützt, dass die Retina das Licht durchlasse und nicht auffange, als insbesondere durch den Umstand, dass auch die Iris, die mit der Chorioidea in ihrer Struktur so verwandt sei, eine grosse Empfindlichkeit gegen das Licht zeige. Der Streit, der über die so entstandene Controverse herüber und hinüber schwankte, wurde erst nach fast hundert Jahren von anatomischer Seite durch Haller, von physikalischer Seite durch Dan. Bernoulli endgültig entschieden, durch Haller, indem er nachwies, dass die Netzhaut an der blinden Stelle von abweichender Struktur sei, und dass die Chorioïdea fast keine Nerven besitze[2]), durch Bernoulli, indem er zeigte, dass unsere Aufmerksamkeit beim Sehen vorzüglich auf diejenigen Gegenstände sich richte, die auf der Mitte der Netzhaut sich abbilden, und indem er bereits die Vermuthung aussprach, dass wir dasjenige, was durch die blinde Stelle verschwindet, durch die Einbildungskraft ersetzen[3]).

Nach Kepler erhielt von physikalischer Seite aus die Untersuchung der Gesichtsempfindungen den mächtigsten Anstoss durch die von Newton geschehene Entdeckung der verschiedeneu Brechbarkeit der Strahlen des gemischten Lichtes und seine darauf gegründete Theorie des Lichtes und der Farben[4]). Indem Newton durch ebenso einfache als sinnreiche Versuche den Nachweis lieferte, dass sich das weisse Licht in die einzelnen Farbestrahlen zerlegen und aus ihnen sich wieder zusammensetzen lasse, zerstörte er den letzten Rest der Aristotelischen Optik, der sich gerade in der Farbenlehre, in der Annahme einer Zusammensetzung der verschiedenen Farben aus Weiss und Schwarz als den Grundfarben noch erhalten hatte. Wenn trotz des unumstösslichen physikalischen Beweises, den Newton von der zusammengesetzten Beschaffenheit des weissen Lichtes geliefert hat, bei einem nicht-physikalischen Publikum die Aristotelische Theo-

1) Philosop. transact. 1668, t. II. p. 668 u. t. IV, p. 1023.

2) Elem. Phys. T. V. p. 477.

3) Comment. Academ. Petrop. T. I, p. 314. Bernoulli ist zugleich der Erste, der Ort und Grösse des blinden Flecks genauer zu messen versuchte.

4) Lectiones opticae, opera t. II.

rie noch lange, ja zum Theil bis in die neueste Zeit sich erhalten hat, so dürfen wir sicherlich dies als keine Zufälligkeit ansehen, ebenso wie wir darin, dass jene Theorie von Aristoteles bis Newton die fast allgemein angenommene war, schon einen tiefern Grund und eine Bedeutung erkennen müssen, die ihr vielleicht eben auf nicht-physikalischem Gebiete zukommen mag. In der That, wenn wir alle Licht- und Farbenerscheinungen nach ihrer physiologischen Wirkung, nach der Intensität der Empfindung, in eine Reihe ordnen, so sind Weiss und Schwarz die zwei Endglieder, zwischen welche die einfachen Farben des Spektrums in bestimmter Folge sich einreihen lassen. Der Irrthum der Aristotelischen Optik besteht darin, dass sie diese der unmittelbaren Empfindung sich aufdrängende Eigenschaft mit dem ganzen Wesen der Farbe verwechselt; daraus erklärt es sich auch, dass noch in neuester Zeit die Göthe'sche Farbenlehre vorzugsweise bei Solchen Beifall gefunden hat, die weniger der innere Zusammenhang als der unmittelbare Eindruck der Naturerscheinungen beschäftigt, wie bei Künstlern, oder auch bei Solchen, die die Gegenstände der äussern Anschauung unmittelbar als Denkprobleme behandeln, wie dies meistens von Philosophen geschieht.

Newton aber, der mit so grossem Erfolg die physikalische Seite dieses Gegenstandes bearbeitete, hatte keine Acht auf jene physiologische Wirkung, und dies mag der Grund sein, dass er, dessen Schlüsse, so lange es sich um die Theorie des weissen Lichts und der Spektralfarben handelt, von unangreifbarer Folgerichtigkeit sind, seinerseits in einen Irrthum verfällt, indem er den Versuch macht, auch das Schwarze aus seiner Theorie abzuleiten. Newton sagt nämlich, Schwarz und Weiss seien nicht wesentlich von einander verschieden, beide seien aus allen Farben zusammengesetzt, und das Schwarze unterscheide sich von dem Weissen nur durch den Mangel an Licht, er schliesst dies namentlich daraus, dass eine weisse Fläche ein schwärzliches Ansehen erhält, wenn sie beschattet wird, dass die Ränder eines schwarzen von der Sonne beschienenen Körpers mit farbigen Säumen erscheinen, wenn sie durch ein Prisma betrachtet werden u. s. w.[1]). Dieser Irrthum ist unvermeidlich, wenn man nur das Objekt des Sehens und nicht zugleich das sehende Organ im Auge hält, denn das Schwarze ist eben keine physikalische Eigenschaft des Lichtes, sondern ein

[1]) L. c. p. 225.

physiologischer Zustand der Netzhaut, welcher der gänzlichen Erregungslosigkeit derselben entspricht.

Newton berührt überhaupt nirgends in seinen Schriften, wie dies Kepler so häufig gethan hatte, die physiologischen Vorgänge beim Sehen; bei ihm ist die eigentliche Optik im Vergleich zu Kepler schon so weit vorgeschritten, dass sie eine völlig in sich abgeschlossene, gewissermassen objektivere, von dem wahrnehmenden Subjekt unabhängige Gestalt annimmt. Auch die Bemühungen der gleichzeitigen Physiker, von denen nur Wenige, wie Mariotte, Hook u. A., die Newton'sche Lehre bekämpften, deren bei weitem überwiegende Mehrzahl aber sich mit dem Weiterbau der durch ihn begründeten wissenschaftlichen Optik beschäftigten, wie Désaguliers, s'Gravesand, Muschenbroek, gehen vollständig in den rein physikalischen Untersuchungen auf. Wo die Wirkung des Auges erwähnt wird, da begnügt man sich mit der sich auf Kepler stützenden Nachweisung, dass die Lichtstrahlen, deren Brechung in den durchsichtigen Medien nach dioptrischen Gesetzen erfolge, auf der Netzhaut ein Bild der Gegenstände entwerfen. Mit der Entstehung dieses Bildes glaubt man den Sehakt vollständig abgemacht, es kann daher nirgends die Rede sein von einem näheren Eingehen auf den eigentlichen Empfindungs- und Wahrnehmungsvorgang. Höchstens noch erregt die verkehrte Lage des Netzhautbildes Bedenken, aber auch hierüber beruhigt man sich gewöhnlich bald mit irgend einer Hypothese. So blieb seit Newton die physikalische von der physiologischen Optik getrennt: während jene unaufhaltsame Fortschritte machte, blieb diese im Wesentlichen auf dem Punkte stehen, auf dem sie einst Kepler gelassen hatte. Die Physiologie war noch nicht so weit vorgeschritten, um ihrerseits da anzuknüpfen, wo die Physik war stehen geblieben. Die Physiologen des 17. und 18. Jahrhunderts beschränkten sich daher meistens auf die Mittheilung der ihnen von den Physikern überlieferten Sätze und auf diejenigen Schlüsse, die sich aus der anatomischen Untersuchung des Auges oder aus der unmittelbaren Beobachtung ihnen ergaben. So lieferten Boerhave, Le Cat, Porterfield, Hamberger, Haller u. A. manches Einzelne von Werth, ohne im Ganzen einen wesentlichen Fortschritt herbeizuführen.

Porterfield[1]) bringt schon einige vortreffliche Bemerkungen über die Bestimmung des Ortes und der Entfernung der Gegenstände durch den Gesichtssinn, sowie über den Ein-

[1]) Porterfield, on the eye. Edinb. 1759. t. I. and II.

fluss der Uebung auf den bei diesen Schätzungen thätigen Urtheilsprocess; auch über Accomodation, über die Bewegung der Iris u. a. hat er Beobachtungen und verständige Reflexionen, dagegen leitet er z. B. das Aufrechtsehen daher, dass die Seele nicht auf der Retina, sondern an dem Ort sehe, wo sich die Objekte befinden.

Bei Haller[1]) ist besonders die scharfsinnige Behandlung der Empfindung und ihrer Auffassung von Interesse. Er sagt: der äussere Eindruck wird durch das Nervenfluidum zum Gehirn fortgepflanzt, aber weder im Gehirn noch in der Seele entsteht ein Abbild des gesehenen Gegenstandes; die Lichtstrahlen dringen nur bis zur Netzhaut, die von hier ausgehende Bewegung dringt zum Gehirn, aber in die Seele selber gelangt nicht einmal diese Bewegung. Doch wie die Lichteindrücke wechseln, so ist die Bewegung in den Nerven und die Wahrnehmung der Seele eine wechselnde, es besteht also zwischen dem Eindruck, der Bewegung und dem Wahrgenommenen ein gewisses Verhältniss, bei jedem Eindruck percipiren wir ein Zeichen, das die ihm entsprechende Vorstellung wach ruft. —

Ueberblicken wir die ganze Reihe physikalischer und physiologischer Arbeiten von Kepler bis Haller, so können wir dieselbe kurz als eine Periode der Untersuchung bezeichnen, in der das objektive Moment, aus dessen allseitiger Erforschung die physikalische Theorie des Lichts und der Farben ihren Ursprung nimmt, so überwiegend ist, dass über ihm das subjective gänzlich zurücktritt. Bei einigen Physiologen ist zwar ein unverkennbares Bestreben vorhanden, auch das letztere zur Geltung zu bringen, aber der Schatz physiologischer Erfahrungen ist noch zu klein, um einen mit der Macht der errungenen physikalischen Thatsachen im Gleichgewicht stehenden Anhaltspunkt bieten zu können.

3. Die idealistische Philosophie von Cartesius bis Berkeley und der Sensualismus des Locke und seiner Nachfolger.

Neben dieser Reihe von Forschern, welche die sinnliche Seite unseres Gegenstandes vertreten, steht aber eine andere Reihe, die vorzugsweise der geistigen Seite desselben ihr Augenmerk zuwendet, und die in der neben jener ihren induktiven Gang vorfolgenden Naturforschung einhergehenden

[1]) Elem. Physiolog. Tom. V. Lib. XVI et XVII.

idealistischen Philosophie ihren Ausdruck findet. Der Mann, den wir hier nicht nur der Zeit nach, sondern auch desshalb zuerst nennen müssen, weil er, Physiker und Philosoph, zugleich auf der Gränzscheide beider Anschauungsweisen steht, ist Cartesius[1].

Wie in seiner ganzen Philosophie, so vereinigt Cartesius auch in seiner Theorie der äussern Erkenntniss den Widerspruch des strengsten Idealismus und der gröbsten mechanischen Versinnlichungen. Idealist bleibt er, so lange er kritisch den bisherigen Schein der Erkenntniss vernichtet, Sensualist wird er, sobald er den Versuch macht, die neue Quelle positiver Erkenntniss, die er gefunden zu haben glaubt, ins Einzelne zu verfolgen; in seinen philosophischen Schriften tritt daher der Idealismus, in seinen physikalischen Schriften der Sensualismus mehr in den Vordergrund. Der Grund dieses Widerspruches liegt darin, das seine dogmatische Philosophie nicht, die natürliche Tochter seiner Kritik sondern nur ihr angenommenes Kind ist. Sein mathematisches Genie bestimmt ihn, geometrischen Wahrheiten Gewissheit zuzuerkennen, während er an allem Uebrigen sich zu zweifeln erlaubt, so entsteht das Bestreben, Alles, Körperliches und Geistiges, mechanisch zu versinnlichen, um es geometrisch demonstriren zu können.

Die Theorie des Lichtes, die Cartesius in seiner Dioptrik aufstellt, enthält die Grundidee der späteren Undulationstheorie. Er sagt: beinahe alle Philosophen nehmen mit Recht an, dass es keinen leeren Raum geben könne, dennoch sehen wir, dass zwischen den Theilchen der Körper sich Poren befinden, diese Poren müssen also mit einer sehr feinen Materie ausgefüllt sein. Das Licht besteht nun nach seiner Annahme in einer in der Richtung der Lichtstrahlen geschehenden Bewegung dieser Materie, die er sich aus discreten, auf einander stossenden Kügelchen zusammengesetzt denkt. Diese Materie erstreckt sich von den Gestirnen bis zu unserm Auge, und wir empfinden mit dem letzteren die Bewegung, die von jenen ausgeht, ähnlich wie wir durch einen Stock, den wir in der Hand halten, den Widerstand des Bodens wahrnehmen. Die Bewegung, die der Netzhaut mitgetheilt wird, pflanzt durch den Sehnerven sich zum Gehirne fort. Diese Fortpflanzung denkt sich Cartesius auf folgende Weise: die Nerven enthalten, nach den Vorstellungen jener Zeit, innerhalb ihrer

[1]) Vergl. bes. die Dioptrik (1637), oeuvres publ. par V. Consin, t. V. und die Prinzipien der Philosophie (1644), t. III.

Umhüllungen die Nervengeister, welche auf Befehl des Willens in die Muskeln herabfahren und diese in Bewegung versetzen und ausserdem sehr feine Fäden, die eigentlichen Nervenfasern. Diese Nervenfäden dienen nun nach Cartesius Annahme der Empfindung; ausgespannt zwischen Sinnesorgan und Gehirn und frei beweglich wegen der die Röhren aufblähenden Nervengeister übertragen sie die mitgetheilte Bewegung von einem zum andern, ähnlich wie ein Seil, das man am einen Ende in Schwingung versetzt. Cartesius spricht sich sodann gegen die gangbare Annahme aus, dass die Bilder der Gegenstände zum Gehirn gelangen müssten, um dort von der Seele gesehen zu werden, denn wir stellen uns ja auch unter Zeichen und Worten bestimmte Dinge vor, ohne dass jenen irgend eine Aehnlichkeit mit diesen zukommt. Aber dieses Resultat kritischen Nachdenkens vernichtet er, ohne Zweifel weil er selber keinen andern Ausweg noch finden kann, alsbald wieder, indem er einlenkend fortfährt: wollen wir übrigens bei der gangbaren Vorstellung von Bildern bleiben, so müssen wir wenigstens nicht annehmen, dass dieselben vollständig den Objekten gleichen, sondern sie brauchen ihnen nur ähnlich zu sein, ebenso wie eine Zeichnung, die nur die Umrisse der Form giebt, die ganze Vorstellung eines Gegenstandes in uns zu erwecken vermag. Cartesius zeigt nun, dass in der That das auf der Netzhaut entworfene Bild gewisse Unvollkommenheiten habe, und demonstrirt dann, dass dieses Bild, so wie es auf der Netzhaut sei, zum Gehirn gelangen müsse, weil es hier die Optikusfasern bewege, und das Licht nichts anderes als eine Bewegung sei. Wir dürfen uns aber nicht etwa vorstellen, dass die Seele gewissermassen mit einem zweiten Auge jene inneren Bilder betrachte, sondern die Bewegungen, aus denen dieselben bestehen, wirken unmittelbar auf die Seele ein und rufen dadurch in dieser die Empfindung hervor; wir müssen annehmen, dass an derjenigen Stelle des Gehirns, wo die optischen Nervenfäden entspringen, die Kraft der Nervenbewegungen eine so beschaffene sei, um der Seele Lichtempfindungen zu veranlassen, während die Empfindungen der Farben von der Form dieser Bewegungen abhängig sind; als Stütze dieser Ansicht werden die auf mechanische Misshandlungen der Augen erfolgenden subjektiven Lichtempfindungen angeführt.

Die Erkenntniss der Lage der Objekte hängt nach Cartesius lediglich von der Lagerung der Gehirnpartieen an der Ursprungsstelle der Sinnesnerven ab; diese ist so beschaffen, dass sie sich mit jeder Lageänderung unserer Glieder

entsprechend verändert und dadurch der Seele in jedem Augenblick nicht nur das Bewusstsein unserer eigenen Körperstellung, sondern auch das Bewusstsein des Ortes aller derjenigen Dinge mittheilt, die in den geraden Linien liegen, welche man sich von unsern empfindenden Körperstellen aus in's Unendliche kann gezogen denken. Hieraus erklärt es sich auch, dass wir, trotzdem wir mit zwei Augen sehen, doch die Gegenstände nicht doppelt erblicken, ebensowenig als der Blinde von einem Gegenstand, den er mit beiden Händen berührt, glaubt dass er doppelt sei. — Das Bestimmen der Entfernung hängt vor Allem von der Form des Auges ab, denn diese muss beim Sehen in die Nähe etwas anders sein als beim Sehen in die Ferne, und in dem Maasse als wir dieselbe verändern, um sie der Distanz der Objekte anzupassen, verändern wir entsprechend eine gewisse Partie unseres Gehirns, um unserer Seele jene Distanz wahrnehmen zu lassen. Fernere Hülfsmittel zur Erkenntniss der Entfernung sind der Convergenzwinkel der beiden Augenaxen, aus dem wir durch eine Art natürlicher Geometrie auf die Distanz schliessen, und die grössere oder geringere Deutlichkeit und Lichtstärke der Gegenstände. — Endlich die Grösse der Gegenstände schätzen wir aus ihrer Entfernung verglichen mit der Grösse der Bilder, die sie im Grund des Auges entwerfen.

Die Gesichtstäuschungen leitet Cartesius vorzugsweise daher, dass unsere Seele durch die Hülfe des Gehirns und der Nerven sehe; sei also z. B. ausnahmsweise die Lage der letztern etwas verwirrt, so könne es vorkommen, dass wir einen Gegenstand an einem andern Ort sehen, als er sei. Auch darin täusche man sich immer, dass man weisse und hellleuchtende Gegenstände für grösser und näher als dunkle halte; der Grund hierfür liege darin, dass die Verengerung der Pupille, die durch die Gewalt des Lichtes veranlasst werde, auf's Innigste verbunden sei mit jener Bewegung, welche der Anpassung für die Nähe entspreche. Der Grund aber, warum hell leuchtende Körper zugleich grösser erscheinen, liege nicht bloss in der Abhängigkeit unserer Grössenschätzung von der Schätzung der Entfernung, sondern zugleich darin, dass der auf die Netzhaut geschehende Eindruck vermöge seiner Stärke dort auf benachbarte Nervenfasern sich ausbreite[1]).

[1]) Plateau hat in seinem geschichtlichen Abriss der Irradiationstheorieen (Poggendorff's Ann. Ergänzungsband I. 1842. S. 81) nur die letztere Hypothese des Cartesius angeführt.

Wir sehen in diesen physikalischen Arbeiten des Cartesius eine Fülle feiner Beobachtungen und sinnreicher Erklärungen Hand in Hand gehen, aber zugleich zieht sich durch das Ganze das Bestreben hindurch, das unbekannte Wesen der untersuchten Erscheinungen auf bekannte mechanische Phänomene, auf klare geometrische Verhältnisse zurückzuführen, und dadurch erscheint die Grundanschauung als eine materialistische im äussersten Sinne des Wortes. Einen ganz anderen Eindruck machen des Cartesius philosophische Schriften: zwar brechen auch hier da und dort seine sensualistischen Neigungen durch, aber der Vorzug, welcher hier der Speculation vor der sinnlichen Erfahrung eingeräumt wird, macht die Grundanschauung zu einer durchweg idealistischen.

In der Betrachtung, die Cartesius in seinen Prinzipien der Philosophie den Sinneswahrnehmungen widmet, handelt es sich lediglich um eine Prüfung derselben auf spekulativem Wege. An die sinnliche Erfahrung wird der Maassstab der Spekulation gelegt, um über ihre Sicherheit abzuschätzen. Cartesius erklärt es für ein von Jugend auf eingesogenes Vorurtheil, dass wir uns vorstellen, Alles was wir empfinden, wie Farbe, Schmerz u. s. w., überhaupt alle Sinnesqualitäten seien ausser unserm Geiste existirende und unsern Empfindungen vollkommen ähnliche Dinge. Diese Vorstellung sei falsch, denn sobald man sich selbst fragt, was das Aeusserliche sei, das der Empfindung der Farbe oder des Schmerzes entspreche, so muss man seine Unwissenheit eingestehn. Alle Sinnesqualitäten können also nur als Empfindungen und Gedanken deutlich vorgestellt werden, nicht aber als ausser dem Geist existirende Dinge. Ganz anders ist es mit der Erkenntniss der Grösse, Gestalt, Bewegung, Lage eines Gegenstandes, so wie mit den Begriffen von Dauer, Zahl u. dergl. Diese Eigenschaften, glaubt Cartesius, könne man weit deutlicher an den Körpern sich vorstellen, ja man könne keinen Körper ohne dieselben sich denken; wenn wir auch gewiss sind, dass ein Körper so gut existirt, insofern er gefärbt, als insofern er gestaltet ist, so sollen wir doch viel deutlicher das Gestaltetsein als das Gefärbtsein erkennen, und in Bezug auf das letztere seien viel leichter Täuschungen möglich. Es wird somit den Sinnen nur insofern sie zur Auffassung quantitativer Verhältnisse geschickt sind eine objektive Sicherheit zugesprochen, während allen Sinnesqualitäten lediglich eine subjektive Bedeutung zukommt.

Cartesius wirft sich nun weiter die Frage auf, woher es komme, dass wir unsere Wahrnehmungen stets auf äussere

Objekte beziehen. Was wir empfinden, sagt er, das kommt unzweifelhaft von einer Sache, die von unserm Geiste verschieden ist, denn es steht nicht in unserer Macht was wir empfinden wollen, wie es in unserer Macht steht was wir denken wollen. Wie kommen wir aber dann zu dem Begriff eines ausgedehnten Dinges? Bei der Beantwortung dieser Frage macht sich Cartesius desselben willkürlichen, alle weitere Untersuchung abschneidenden Sprunges in der Schlussfolgerung schuldig, der seiner ganzen Philosophie sich vorwerfen lässt: da wir jenen Begriff nicht aus uns selber haben, so muss er von Gott uns gegeben sein, und da wir uns unter dem höchsten Wesen nur ein wahrhaftiges Wesen vorstellen können, so muss er auch nothwendig ein wahrer sein. Die einzige Eigenschaft der Körper aber, die uns so eingepflanzt ist, dass wir uns ohne sie keine körperliche Vorstellung machen können, ist die Ausdehnung nach drei Dimensionen, alle andern sinnlichen Eigenschaften können in den Körpern aufhören, ohne dass sie selber aufhören, die Ausdehnung ist daher das Einzige, was wir vom Wesen der Körper wahrnehmen.

Der Idealismus des Cartesius wurde durch Malebranche weiter geführt[1]. Er unterschied wie jener die Objekte des Denkens von den Gegenständen der Ausdehnung, er schrieb aber der Seele, da sie selber kein räumlich ausgedehntes Wesen sei, nur die Möglichkeit einer Erkenntniss in Hinsicht der ersteren, nicht aber in Hinsicht der letztern zu. Da sie aber dennoch wahrgenommen werden, so schliesst er, es müsse in der Seele selber etwas vorhanden sein, was mit ihnen eine gewisse Aehnlichkeit habe. Dies sind die von Gott uns eingepflanzten Ideen der Gegenstände. Es lässt sich nicht denken, dass wir überhaupt Verlangen empfinden, irgend ein Objekt zu betrachten, wenn wir es nicht schon vorher, obgleich nur im Allgemeinen und undeutlich, schauen. Es muss also die Seele a priori die Ideen aller äussern Objekte in sich tragen.

An die Lehre von den angeborenen Ideen knüpfte Leibnitz an in seinen gegen den Locke'schen Sensualismus gerichteten Untersuchungen über das menschliche Erkenntnissvermögen[2]. Leibnitz machte zuerst den Versuch, diese Ideen nicht bloss als Thatsache anzunehmen, sondern sie aus dem Wesen des Verstandes logisch abzuleiten, dadurch wurde er zu dem bedeutenden Fortschritt geführt, die angebornen

[1] De inquirenda veritate. Genoev. 1690.

[2] Nouveaux essais sur l'entendement humain. (1703.) Opera philos. ed. Erdmann, T. I. p. 194.

Erkenntnisse nicht als im Geiste präexistirende Wahrheiten, sondern nur als in demselben von vornherein vorhandene Anlagen anzunehmen, welche Anlagen, um in die Wirklichkeit zu treten, erst eine Entwicklung durch sinnliche Vorstellungen nöthig haben. Dass derartige Anlagen als virtuelle Erkenntnisse uns angeboren sind, wird aus der Natur der Wahrnehmung geschlossen, diese nämlich liefert uns immer nur zufällige Wahrheiten, sie sagt uns nur was ist und was geschieht, aber wir treffen in unserm Geiste auch allgemeine Wahrheiten an, wir erkennen von gewissen Dingen, dass sie nothwendig so sind und nicht anders sein können. — Bis zu diesem Punkte verfährt die Leibnitz'sche Kritik des Erkenntnissvermögens mit vollkommener Folgerichtigkeit; aber nun scheitert sie, indem sie weitergehend den Versuch macht, den selbst hervorgerufenen Dualismus zu überwinden, den logisch gefundenen Unterschied einer sinnlichen und rationalen Erkenntniss wieder zur Vereinigung zu bringen auf metaphysischem Wege. Nach Leibnitz würden wir alle Dinge in ihrem Causalnexus und als nothwendig erkennen, wenn wir überhaupt von Allem eine klare Anschauung hätten. Aber eine solche kommt uns nur zu im Gebiet der rationalen Erkenntniss, unsere sinnlichen Vorstellungen sind allzu dunkel und verworren, als dass sie uns zur genügenden Deutlichkeit kommen könnten. Der Grund hierfür liegt darin, dass jene Eigenschaften der Dinge, welche wir auf rationalem Wege erkennen, leicht überblickt werden können, während diejenigen Eigenschaften, die sich unserer sinnlichen Wahrnehmung darbieten, von einer Menge der verwickeltsten Figuren und Bewegungen, die sie ausdrücken, abhängig sind. So wissen wir zwar, dass die grüne Farbe aus Blau und Gelb zussmmengesetzt ist, aber in der sinnlichen Vorstellung können wir diese Bestandtheile nicht unterscheiden. Der Unterschied der Verstandeserkenntniss von der sinnlichen Wahrnehmung liegt also weder in einer Trennung unseres Erkenntnissvermögens noch in einer absoluten Verschiedenheit der Erkenntnissobjekte, sondern allein in der relativen Einfachheit der letztern begründet. — Bei diesem System wird nothwendig das Wissen mit dem realen Sein der Dinge identisch gesetzt, selbst unsere sinnliche Erkenntniss liefert ein Bild ihres Gegenstandes nur ist dieses Bild durch die Complicirtheit der es zusammensetzenden elementaren Vorstellungen verworren und darum undeutlich.

In dieser Erkenntnisstheorie des Leibnitz lässt sich wie in seinem ganzen System eine mathematische Grundlage nicht

verkennen, und hierin liegt ein Berührungspunkt mit Cartesius. Auch Leibnitz entnimmt den Maassstab richtiger Erkenntniss den einfachen geometrischen Wahrheiten, die Axiome der Geometrie sind ihm die Urbilder seiner angeborenen Ideen. Aber während Cartesius das Verwickelte dadurch seinem Verständniss zu nähern sucht, dass er es gewaltsam vereinfacht, um es geometrisch demonstriren zu können, sieht Leibnitz in Allem, was er aus geometrischen Axiomen nicht ableiten kann, ein unendlich Verwickeltes und Unauflösbares. Beiden ist vor Allem verständlich, was sie als mechanisch nothwendig begreifen, aber Cartesius bleibt stehen bei der äussern Erscheinung der mechanischen Phänomene, Leibnitz bestrebt sich einen innern Grund für dieselben zu finden, jenem genügt noch die Bewegung, dieser sucht nach einer bewegenden Kraft, der Eine fällt darum von seinem spekulativ errungenen idealistischen Standpunkt praktisch in Materialismus zurück, er versinnlicht das Geistige, der Andere erst führt sein idealistisches System folgerecht durch, indem er das Sinnliche selber vergeistigt.

Zu ihrer höchsten Stufe wurde die idealistische Theorie der äussern Erkenntniss durch Berkeley geführt[1]. Für unsern Gegenstand sind die Ansichten dieses Mannes schon desshalb von besonderem Interesse, weil sie ihren Ausgang von der physiologischen Untersuchung des Gesichtssinnes nehmen. Berkeley's Betrachtungen über die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen zeugen von einer feinen psychologischen Beobachtungsgabe. Er sagt: Das Erste, was das Kind unterscheiden lernt, ist die Bewegung seiner eigenen Hände und Finger, die mit einer Empfindung verbunden ist; zugleich aber ist die Bewegung des Bildes derselben im Auge von einer übereinstimmenden Empfindung begleitet; dadurch lernt das Kind Vorstellungen, welche ihm zu gleicher Zeit das Gefühl und das Gesicht von dieser Bewegung geben, mit einander verbinden. Aus der Gesichtsempfindung, die es verglichen mit dem Gefühl bei einer gewissen Entfernung des Fingers vom Auge hatte, schliesst es, dass ein anderer Körper, welcher eben diese Empfindung auf der nämlichen Stelle der Netzhaut verursacht, sich eben da befinde, wo vorher der Finger war. Auf diese Art lernt das Kind zuerst den Ort der Körper kennen, dann unterscheidet es ihre Bewegung und deren Richtung, und, indem es immer weiter die Empfindungen des Gefühls und Gesichts mit einander verbindet,

[1]) Theorie of vision. London, 1709.

gelangt es endlich zu den Begriffen von Ausdehnung, Lage und Gestalt der Körper und lernt zugleich die Grösse und die Entfernung der betrachteten Gegenstände beurtheilen. Das Sehen besteht sonach lediglich in einer Thätigkeit des Gedächtnisses und in einem Schlussverfahren, dieses Schliessen geschieht aber so schnell, dass wir es nicht bemerken, wenn wir nicht absichtlich darauf achten. Das Sehen ist gleichsam ein Zeichen oder eine Sprache, die uns in einem Moment wieder an das zurückerinnert, was wir früher dabei empfunden haben.

Diese richtige Erkenntniss, dass der eigentliche Wahrnehmungsvorgang beim Sehen auf geistigem Gebiete liegt, zu deren Nachweisung und näherer Durchführung Berkeley den ersten Versuch gemacht hat, ist der Keim, aus dem sich seine philosophischen Ansichten entwickelten. Dies ist das Eigenthümliche seines Idealismus, dass er keine spekulative sondern eine empirische Basis hat, aber freilich gelangt Berkeley zu seiner absoluten Negation der sinnlichen Welt, zu der er scheinbar auf induktivem Wege geführt wird, nur durch einen Fehlschluss. Da es nämlich ein geistiger Prozess ist, durch den wir zu unsern Sinnesvorstellungen kommen, so schliesst Berkeley, dass die Empfindung überhaupt nur eine in unserm Geist geschehende Veränderung, also rein subjektiver Natur sei. Das Wahrgenommene hat als solches kein Dasein ausser der wahrnehmenden Seele. Berkeley glaubt diesen Satz überdies dadurch beweisen zu können, dass wir die Empfindungsqualitäten an sich, wie Wärme, Schmerz, Farbe unmöglich auf etwas Aeusserliches beziehen können. — Dabei muste jedoch Berkeley anerkennen, dass die sinnlichen Vorstellungen nicht von unserm Willen abhängig sind, dass sie also einen Grund ausser uns haben müssen. Aber er leugnet, dass dieser Grund ein ausser uns befindliches reales Objekt sei; denn, sagt er, Ursache und Wirkung sind immer einander gleichartig zu denken, unsere sinnlichen Vorstellungen können uns also nur durch ein gleichfalls geistiges Wesen gegeben sein. — So führte Berkeley die Anschauungsweise, zu der Malebranche einst den Grund gelegt hatte, mit strenger Consequenz durch: Malebranche hatte noch die Objekte und die Ideen sich gegenübergestellt, bei Berkeley haben die Ideen allein Wirklichkeit.

In Berkeley sehen wir die idealistische Theorie der äussern Erkenntniss bis zu ihrer äussersten Spitze getrieben, indem von ihm die sinnliche Wahrnehmung nicht mehr als eine zwischen dem Subjekt und der Aussenwelt vorhandenen Wech-

selwirkung sondern rein als ein innerer Prozess des Geistes aufgefasst wird. — Gleichzeitig mit diesem Ideengang, der mit Cartesius an der sinnlichen Erkenntniss zu zweifeln beginnt und der durch Berkeley mit ihr vollständig bricht, um allein dem Denken Wahrheit zuzugestehen, entwickelte sich aber eine entgegengesetzte Weltanschauung, die damit beginnt, dass sie die Wahrheit der Sinnenwelt anerkennt, und damit aufhört, dass sie das Denken bezweifelt. Dieser Sensualismus ist der philosophische Ausdruck der auf physikalischem Gebiete mit dem zunehmenden Reichthum an neuen Erfahrungen sich immer mehr geltend machenden, ganz in dem äussern Objekt aufgehenden Anschauungsweise, die wir für unsern besondern Gegenstand durch Kepler und Newton repräsentirt fanden. Der philosophische Sensualismus hat seine Wurzel in dem Empirismus des Baco, und der Erste, der von diesem Standpunkte aus die Theorie der Erkenntnisse bearbeitete, ist Locke[1]).

Locke's Erkenntnisstheorie beginnt mit der Leugnung der angeborenen Ideen. Alle Erkenntniss stammt aus den Wahrnehmungen des äussern und des innern Sinnes; unserm Verstande kommt nur das Vermögen zu, aus den einfachen durch die Wahrnehmung gegebenen Vorstellungen zusammengesetzte Vorstellungen (Begriffe) zu abstrahiren. Damit war der Standpunkt streng bezeichnet, aber er wurde von Locke selber noch nicht konsequent durchgeführt. Zunächst nämlich gestand er jenen zusammengesetzten Vorstellungen bloss eine subjektive Realität zu, während ein Unterschied von subjektiver und objektiver Realität auf seinem Standpunkte folgerichtig überhaupt nicht mehr vorhanden sein konnte; ferner ordnete er die durch den äussern Sinn vermittelte Erkenntniss, die Empfindung, den Erkenntnissen des innern Sinnes unter, indem er in dem letztern einen höhern Grad der Gewissheit zu finden glaubte; ja noch zwischen den durch die äussere Wahrnehmung vermittelten Vorstellungen machte er Unterschiede, indem er nur den Vorstellungen von Ausdehnung, Zahl, Ruhe, Bewegung, überhaupt den Quantitätsbegriffen, wirkliche und gleichartige Eigenschaften der Materie unterstellte, während die Farben, Töne und überhaupt alle Sinnesqualitäten wohl gleichfalls durch gewisse Eigenschaft der Materie hervorgebracht würden, aber durch Eigenschaften, die mit unsern Empfindungen ganz inkommensurabel seien. — Durch diese

[1]) Essai de Mr. Locke sur l'entendement humain, trad, de l'Angl. Londres 1720. L. II. et IV.

Inkonsequenzen ist die Locke'sche Erkenntnisstheorie noch mit den idealistischen Systemen und speziell durch die Bevorzugung der Quantitätsbegriffe mit Cartesius und Leibnitz verwandt. Eine konsequentere Schlussfolgerung und eine noch strengere Erkenntnisskritik musste jedoch ihrerseits auch den Sensualismus wieder in Frage stellen, indem sie zur völligen Negation der Möglichkeit objektiver Erkenntniss hinführte. Diese Consequenz wurde durch Hume[1]) gezogen; er steht ausserhalb dieser Reihe, und bereitet durch seinen scheinbar jede Philosophie zerstörenden Skepticismus eine neue Periode, die mit Kant beginnt, vor.

Seine Weiterbildung fand der Locke'sche Standpunkt vor Allem in Frankreich. Diese Weiterbildung war aber eine einseitige, die nur die sensuale Seite desselben berücksichtigte. Locke hatte noch die Berechtigung des innern Sinns anerkannt, Condillac suchte alle Erfahrungen desselben herzuleiten aus den Eindrücken der äusseren Sinne. Das Bewusstsein und Alles was in ihm vorkommt leitet er aus der Empfindung her, die Empfindung selber nimmt er als ein Gegebenes an, das keiner Erklärung bedarf. So kehrt die übersättigte Spekulation zurück auf jene Stufe des ursprünglichen, aller Spekulation vorausgehenden Naturalismus, dem Empfindung, Wahrnehmung und Vorstellung noch in Eines zusammenfallen. — Die auf Condillac folgenden materialistischen Systeme haben kein neues Prinzip mehr gebracht, sondern nur das von ihm ausgesprochene im Einzelnen durchgeführt.

4. Kant und die neuere Physiologie.

Eine bedeutsame Epoche in unserer Geschichte macht Kant durch den Umschwung, den seine Vernunftkritik in der ganzen Theorie der Erkenntniss herbeiführte[2]). Kant hat das grosse Verdienst, dass er zuerst eine Unterscheidung, die da und dort wohl schon unbewusst war zu Grunde gelegt worden, und nach der die ganze bisherige Erkenntnisslehre hinstrebte, klar aussprach, die Unterscheidung des Dinges an sich und seiner Erscheinung, die allein Gegenstand unserer Wahrnehmung sein kann. Kant giebt den Empirikern zu, dass alle unsere Erkenntniss mit der Erfahrung beginnt; aber sie entspringt desshalb nicht alle aus der Erfahrung. Denn wäre unserer Sinnlichkeit die einzige Quelle unserer Erkenntniss, so könnten wir niemals über den Zweifel hinauskommen, ob den Erschei-

[1]) Untersuchungen über den menschlichen Verstand.

[2]) Kritik der reinen Vernunft. Einl. und transc. Aesthetik.

nungen unserer Sinne reale Objekte entsprechen: „wo wollte selbst Erfahrung ihre Gewissheit hernehmen, wenn alle Regeln, nach denen sie fortgeht, immer wieder empirisch, mithin zufällig wären?“ Es muss also durch den sinnlichen Eindruck in unserm Geiste etwas geweckt werden, was dieser zur Empfindung hinzuthut, wodurch dieselbe erst zur Anschauung wird, und wodurch wir zugleich die Gewissheit der Realität unserer sinnlichen Vorstellungen erhalten, denn als gewiss können wir nur ansehen, was wir a priori erkennen. Untersuchen wir nun, was unsere Sinnlichkeit zu der Vorstellung hinzuthut und was von ihr unabhängig ist, so zeigt es sich, dass für den äussern Sinn der Raum, für den innern Sinn die Zeit diejenigen Formen sind, in denen sich unser ganzes Vorstellungsleben bewegt; denn, was speciell den äussern Sinn betrifft, so können wir von den Gegenständen unserer sinnlichen Anschauungen alles Andere uns wegdenken, nicht aber die Ausdehnung im Raume, der Raum ist also eine reine oder a priori'sche Anschauung, er ist die Form, unter die unsere Sinnlichkeit Alles zu bringen gezwungen ist.

Bis zu diesem Punkte ist der Gedankengang Kant's von einer unangreifbaren logischen Konsequenz. Der Weg war gebahnt, auf dem der Abgrund des Hume'schen Skepticismus sich vermeiden liess, ohne in sensualistische oder idealistische Irrgänge sich zu verlieren. Aber von hier an waren verschiedene Ausgänge möglich: es konnte angenommen werden, dass der Zwang zu jener Anschauungsform, von der wir niemals zu abstrahiren vermögen, entweder in den Gegenständen der Anschauung oder in dem anschauenden Geiste liege. Kant wählte den letzteren Weg, indem er die Realität des Raumes insofern die Dinge zu unserer Wahrnehmung kommen und zugleich die Idealität des Raumes in Ansehung der Dinge an sich behauptete. Durch diese Wahl hat Kant den induktiven Weg verlassen und ist zu einem subjektiven Idealismus zurückgekommen, zu dessen Ueberwindung er den ersten Schritt gethan hatte.

Kant's Erkenntnisskritik ist die Basis, auf der die empirischen und die philosophischen Wissenschaften dieses Jahrhunderts ruhen. Die Empirie entnimmt für sich das realistische Moment, die positiven Ergebnisse seiner Kritik, die Philosophie knüpft an das idealistische Moment, die willkürliche Herleitung der Anschauungsformen aus dem denkenden Geist, an.

Die Grundansichten, welche in der Physiologie der Sinne der Hauptsache nach noch jetzt gültig sind, leiten ihren Ursprung unmittelbar aus der Kant'schen Philosophie her, die

einen meistens unbewussten Hauptbestandtheil unserer ganzen wissenschaftlichen Bildung und Denkrichtung ausmacht. Wie es aber einst in noch höherem Maasse dem Aristoteles begegnete, so hat auch hier die Empirie, die ein fertiges und abgeschlossenes Ganze als philosophische Grundlage nöthig hat, sich oft aus den Resultaten der Kant'schen Spekulation ein oberflächliches Schema genommen, in dem ihr tieferer Inhalt verloren ging.

Das Bedeutendste was die Physiologie der Sinne in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts hervorgebracht hat ist Johannes Müller's denkwürdiges Werk „zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes“ [1]). Dieses Werk hat durch die Vereinigung einer Fülle wichtiger Entdeckungen auf anatomischem und physiologischem Gebiete mit umfassenden philosophischen Studien in der Physiologie Epoche gemacht, es hat einen neuen von einem einheitlichen Prinzip ausgehenden Standpunkt in der Theorie der Gesichtswahrnehmung begründet, einen Standpunkt, der noch heute in seinen Grundzügen der fast allgemein angenommene ist.

Der oberste Satz, von dem Müller ausgeht, ist der, „dass die Energieen des Lichten, des Dunkeln, des Farbigen nicht den äusseren Dingen, den Ursachen der Erregung, sondern der Sehsinnsubstanz selbst immanent sind, dass die Sehsinnsubstanz nicht afficirt werden könne, ohne in ihren eingeborenen Energien des Lichten, Dunkeln, Farbigen thätig zu sein; dass das Lichte, das Schattige und die Farben nicht dem Sinn als etwas fertiges Aeusserliches existiren, von welchem berührt der Sinn nur die Empfindung desselben habe, sondern das die Sehsinnsubstanz von jedwedem Reiz, welcherlei Art er immerhin sei, aus ihrer Ruhe zur Affektion bewegt, diese ihre Affektion in den Energieen des Lichten, Dunkeln, Farbigen sich selbst zur Empfindung bringe.“ — „Die Wesen der äusseren Dinge und dessen, was wir äusseres Licht nennen, kennen wir nicht, wir kennen nur die Wesenheiten unserer Sinne; und von den äusseren Dingen wissen wir nur, in wiefern sie auf uns in unseren Energien wirken.“

Dieser Standpunkt war gegenüber dem ursprünglichen Objektivismus der Physiker, der die sinnlichen Eigenschaften geradezu als Eigenschaften der die Sinne erregenden Gegenstände betrachtete, ein gewaltiger Fortschritt, aber in der wei-

[1]) J. Müller, zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Thiere. Leipzig, 1826.

teren Durchführung, die ihm Müller und seine Nachfolger gegeben haben, nehmen diese ebenso einseitig auf die sensuale wie jene auf die objektive Seite Rücksicht, so entstand das Bestreben, das Sehen lediglich aus den anatomischen und physiologischen Eigenschaften des Auges abzuleiten.

Da wir ursprünglich durch den Sinn von nichts als von uns selber wissen können, so empfindet nach Müller das Individuum in den Anfängen der Sensibilität nur sich selbst räumlich ausgedehnt. Wenn Jemand, ohne eine andere Sinnesempfindung gehabt zu haben, zu sehen anfinge, so würde er nicht anders können, „als sich mit seinen Gesichtserscheinungen samt und sonders identisch zu setzen. Wenn er aber fortführe durch einen Wechsel derselben afficirt zu werden, so würde er zunächst seinen eigenen Körper kennen lernen als ein bei allem Wechsel der andern Sinneserscheinungen Bleibendes.“ Auf diese Weise entsteht erst während des Lebens, erst durch Erfahrung die Unterscheidung einer Aussenwelt von unserem eigenen Körper, einer Unterscheidung, die noch überdies durch das gleichzeitige Zusammenwirken der verschiedenen Sinne begünstigt wird.

Diese Annahme einer allmäligen Entstehung des objektiven Bewustseins wurde übrigens nicht von allen Physiologen getheilt, sondern Mehrere, wie Tourtual[1]), Volkmann[2]), waren der Ansicht, dass der Gesichtssinn unmittelbar seine Empfindungen nach Aussen versetze.

Die Sinnesenergieen des Auges sind Licht und Farben, beide können nicht abgetrennt von der Empfindung, nicht als ein an den äusseren Körpern Haftendes vorgestellt werden; Müller bekennt sich deshalb zur Göthe'schen Farbenlehre, und hält jede andere Theorie, die sich wie die Newton'sche auf eine hypothetische Eigenschaft des Lichtes an sich gründet, für eine verfehlte. Auch die Finsterniss, das Schwarze ist ihm eine positive Empfindung. „Das gesunde durch keinen Einfluss gereizte Sehorgan sieht bei geschlossenen Augenliedern sich in seinem ganzen Umfange finster, aber auch nur in seinem eigenen Umfange. (Es fällt uns nicht ein, die Dinge, die hinter uns gelegen sind, selbst bei geschlossenen Augen dunkel uns vorzustellen.) Ist die Empfindung überhaupt negirt, ist das Organ gelähmt, so hört auch die sinnliche Anschauung der eigenen Ruhe als Dunkel auf. Negation des Reizes bedingt

1) Die Sinne des Menschen, Münster 1827.
2) Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes, Leipzig 1836.

nicht Negation der Empfindung. Aber Negation der Empfindung negirt auch das sinnlich Dunkle."

Die räumliche Ausbreitung und das Lageverhältniss der äusseren Gegenstände können wir somit nur wahrnehmen, indem wir unsere eigene Netzhaut und das Lageverhältniss ihrer einzelnen Punkte räumlich empfinden. Da die Netzhaut sich flächenhaft ausbreitet, so enthalten die Bilder der Objekte auf ihr gleichfalls nur zwei Dimensionen, aber dieser Nachtheil, der dem Gesichtssinn im Vergleich zum Gefühlssinne zukommt, wird durch die eigene Bewegung des Körpers, vermittelst welcher wir successiv von verschiedenen Standpunkten aus einen Gegenstand anschauen können, wieder ausgeglichen; beim Gesichtssinn entsteht also die Anschauung der dritten Dimension erst durch ein Urtheil, Müller nennt sie daher eine Vorstellung, während er die Flächenanschauung als Empfindung bezeichnet.

Durch seinen obersten Grundsatz der eigenen räumlichen Empfindung unserer Netzhaut wird Müller folgerichtig zu dem Schlusse geführt, dass es für unser Auge und seine Objekte eine absolute physiologische Grösse geben müsse, und dass alle Grössenmaasse der Physiker nur scheinbare seien. Die absolute Grösse des empfindenden Theils unserer Netzhaut ist uns gegeben in der Ausdehnung unseres Sehfeldes, die absolute Grösse eines Objektes ist aber diejenige, die wir empfinden, wenn dasselbe in unmittelbarer Berührung mit unserer Netzhaut ist. Dieser Fall ist nur verwirklicht bei der entoptischen Wahrnehmung des Gefässgeflechtes der Aderhaut und der Eintrittsstelle des Sehnerven. — Auch diese Ansicht wurde nicht von allen Physiologen getheilt. So machte Volkmann (a. a. O.), von seinem Standpunkte aus, wornach die Netzhaut unmittelbar ihre Empfindungen nach aussen versetzt, ebenso folgerichtig, die Annahme, die Netzhaut schätze die Grösse der Objekte, indem die Grösse der letzten ihr wahrnehmbaren Distanz ihre Maasseinheit sei.

Das Problem des Aufrechtsehens löst Müller, indem er bemerkt, dass alle unsere Empfindung von dem Lageverhältniss der Gegenstände nur eine relative ist, und dass, wenn man Alles verkehrt sieht, auch die Ordnung der Gegenstände in keiner Weise gestört wird. — Was endlich das Einfachsehen mit beiden Augen betrifft, so weist Müller zum ersten Mal aus dem genaueren Studium der Doppelbilder und der Druckfiguren nach, dass bestimmte Stellen in beiden Augen sich in der Weise entsprechen, dass Eindrücke, die sie treffen, auf einen und denselben Ort bezogen werden. Dies erklärt

Bayerische Staatsbibliothek München

er anatomisch aus dem Chiasma der Sehnerven, in welchem aus physiologischen Gründen eine derartige Kreuzung stattfinden müsse, dass von je einer sich hier theilenden Nervenfaser die identischen Stellen beider Netzhäute versorgt werden, so dass also je zwei identische Stellen nur als ein Raumtheilchen im Sensorium repräsentirt sind. Diese Lehre von den identischen Netzhautstellen, sowie das sich an dieselbe anschliessende Ergebniss, dass mit einer bestimmten Convergenz der Sehaxen stets ein angemessener Accomodationszustand verbunden ist, bilden die wichtigsten Resultate der Müller'schen Untersuchungen.

Mehrere der von Müller in seiner einseitig physiologischen Theorie des Sehens aufgestellten Sätze (wie über die entoptischen Erscheinungen als absolute Grössen, das Schwarze als positive Empfindung, die Annahme der Göthe'schen Farbenlehre) wurden später beseitigt, zum Theil von ihm selber im Handbuch der Physiologie gemildert, aber der Hauptsatz der Müller'schen Theorie: die Flächenanschauung ist eine Empfindung, die Wahrnehmung der Tiefendimensionen dagegen eine durch Urtheile gebildete Vorstellung, ist bis jetzt in der Physiologie der allgemein angenommene und die Untersuchungen bestimmende geblieben, obgleich dieses Gebiet seitdem durch eine grosse Menge neuer Thatsachen bereichert wurde, und obgleich jener Satz sogar einzelnen dieser Thatsachen nicht mehr zu genügen schien. Es hat daher vor Allem die Untersuchung der Wahrnehmung von Entfernungen nach der Tiefe des Raumes und der Körperwahrnehmung sich erweitert, so dass die diesen Wahrnehmungen zu Grunde liegenden physischen und psychischen Vorgänge vielleicht fast vollständig zergliedert und ermittelt sind. Im Ganzen nimmt jedoch die Theorie der Gesichtswahrnehmungen, der Müller's und seiner nächsten Nachfolger Arbeiten noch hauptsächlich gewidmet sind, in den Untersuchungen der Jetztzeit nur ein untergeordnetes Interesse in Anspruch. Die heutige physiologische Optik muss ihre Hauptaufgabe sehen in der Anbahnung einer Theorie der Gesichtsempfindungen; dies aber ist, wie mir scheint, nicht zu verkennen, dass die Analyse des Empfindungsvorganges die Zergliederung der Wahrnehmung nicht bloss an physiologischer Wichtigkeit um so Vieles übertrifft als sie schwieriger ist, sondern dass sie selbst als eines der höchsten Ziele betrachtet werden muss, das überhaupt die physiologische Untersuchung sich setzen kann. Es liegt unserm Zwecke zu fern und wäre bis jetzt auch kaum möglich, hier näher nachzuweisen, inwieweit durch die Fortschritte,

welche die physiologische Optik und die physikalische Untersuchung der Empfindungsnerven in den letzten Jahren gemacht hat, wir uns jenem Ziele genähert haben mögen; die Arbeiten, die erwähnt werden müssten, sind überdies noch zu neu und zum Theil zu wenig abgeschlossen, als dass sie schon als der Geschichte angehörig hier verzeichnet werden dürften. —

5. Kant's philosophische Nachfolger.

Die Philosophie, die unmittelbar an Kant sich anschliesst, hat in der Theorie der Sinneswahrnehmung keinen Fortschritt herbeigeführt, sie hat nicht einmal wesentlich neue Gesichtspunkte aufgestellt, sondern sie ist nur eine Weiterentwicklung des schon in Kant gelegenen idealistischen Momentes nach verschiedenen Richtungen.

So nennt Fichte[1]) die äussere Wahrnehmung zusammengesetzt aus einer qualitativen Affection des äussern Sinnes, wie z. B. der Farbe, und aus der Ausdehnung im Raume. Die erstere ist eine Beschränkung des Sinnes, d. h. des Anschauenden in bestimmter Weise, die letztere ist, da das Ausgedehnte unmittelbar als ein unendlich Theilbares angeschaut wird, ohne dass eine solche Theilung in Wirklichkeit nicht vollzogen werden kann, offenbar nichts Anderes als die Sichanschauung des Anschauenden in seinem Vermögen der Unendlichkeit, also gleichfalls eine Selbstbeschränkung. Die Empfindung besteht somit darin, dass auf die Thätigkeit des Ich ein Anstoss geschieht, der dieselbe in sich reflektirt, und was wir Gegenstände nennen ist nichts anderes als die verschiedenen Brechungen der Thätigkeit des Ich an einem Anstoss, der nicht von einem unerklärlichen „Ding an sich" kommt, sondern in dem Ich selbst schon gelegen ist.

An diesen Standpunkt knüpft Schelling[2]) an und führt ihn weiter zum objektiven Idealismus. Schelling sagt: Wenn unser ganzes Wissen, wie manche Philosophen glauben, auf Begriffen beruhte, so wäre keine Möglichkeit da, uns von irgend einer Realität zu überzeugen. Nichts ist für uns wirklich als was uns unmittelbar gegeben ist, nichts aber

[1]) J. G. Fichte, die Thatsachen des Bewusstseins. Sämmtliche Werke, Bd. II. S. 541.

[2]) Ideen zu einer Philosophie der Natur. Landshut 1833.

Bayerische Staatsbibliothek München

gelangt unmittelbar zu uns anders, als durch die Anschauung. Was ist Anschauung? Der Anschauung muss ein äusserer Eindruck vorhergehen, der Eindruck muss auf eine ursprüngliche Thätigkeit in mir geschehen, und diese Thätigkeit muss auch nach dem Eindruck noch frei bleiben, um ihn zum Bewusstsein erheben zu können. Wenn man Alles auf Denken und Vorstellen zurückführt, so müsste die ganze Welt ein blosser Gedanke sein; dass etwas ist und unabhängig von mir, kann ich nur dadurch wissen, dass ich schlechterdings zu der Vorstellung genöthigt werde; wie kann ich aber diese Nöthigung fühlen, ohne das gleichzeitige Gefühl, dass ich in Ansehung alles Vorstellens ursprünglich frei sei, und dass Vorstellen nicht mein Wesen sei, sondern nur eine Modifikation meines Seins: nur einer freien Thätigkeit in mir gegenüber nimmt was frei auf mich wirkt die Eigenschaft der Wirklichkeit an, und umgekehrt wird die ursprüngliche Thätigkeit in mir erst am Objekt zum Denken, zum selbstbewussten Vorstellen. — Allem Denken und Vorstellen in uns geht also nothwendig voran eine ursprüngliche Thätigkeit, die, weil sie allem Denken vorangeht, insofern schlechthin unbestimmt und unbeschränkt ist. Erst, nachdem ein Entgegengesetztes da ist, wird sie beschränkte, desswegen bestimmte (denkbare) Thätigkeit. Wäre diese Thätigkeit ursprünglich beschränkt, so könnte der Geist niemals sich beschränkt fühlen, er fühlt seine Beschränktheit nur, insofern er zugleich seine ursprüngliche Unbeschränktheit fühlt. Als Bedingungen zur Anschauung haben wir also zwei einander widersprechende Thätigkeiten. — Woher nun jene entgegengesetzte beschränkende Thätigkeit? Die Objekte selbst können wir nur als Produkte von Kräften betrachten; auf unsern Geist vermag ferner nichts zu wirken, als er selber oder was seiner Natur verwandt ist, Kraft aber allein ist das Nichtsinnliche an den Objekten. Im Gemüth sind also vereinigt eine ursprünglich freie und eine auf sich selbst reflektirte Thätigkeit, welche letztere die Schranke der ersteren ist. Schranke ist aber Negation, und desshalb ist diese Thätigkeit eine begränzte und ihr Resultat ein Endliches. — Aus diesen Erörterungen folgt endlich, dass die Anschauung nicht das Niederste, sondern das Höchste für den Geist ist, dasjenige was eigentlich seine Geistigkeit ausmacht; denn ein Geist ist was aus dem ursprünglichen Streit seines Selbstbewusstseins eine objektive Welt zu schaffen vermag. Die ganze Wirklichkeit ist nichts anderes, als jener ursprüngliche Streit, „kein objektives Dasein ist möglich, ohne dass ein

Geist es erkenne, kein Geist, ohne dass eine Welt für ihn da sei."

Hegel's Theorie der Empfindung kann aus dem System getrennt nicht leicht vollständig verstanden werden, wir wollen jedoch versuchen, dieselbe im Umriss hier anzudeuten [1]. — Hegel entwickelt den Begriff der Empfindung dialektisch aus den sich entgegengesetzten Begriffen des Wachens und Schlafens. Der Schlaf ist der Zustand des Versunkenseins der Seele in ihre unterschiedslose Einheit, das Wachen dagegen der Zustand des Eingegangenseins der Seele in den Gegensatz gegen diese einfache Einheit. In dem sich stets wiederholenden Wechsel von Schlaf und Wachen streben diese Bestimmungen immerwährend nach ihrer konkreten Einheit hin, ohne dieselbe in jenen abstrakten Zuständen je zu erreichen; zur Wirklichkeit kommt diese Einheit aber in der empfindenden Seele. Die empfindende Seele nämlich setzt das Mannigfaltige in ihre Innerlichkeit hinein, sie hebt also den Gegensatz des Fürsichseins (der Subjektivität) ihres wachen Zustandes und des substantiellen Ansichseins (der Unmittelbarkeit) ihres schlafenden Zustandes auf, jedoch nicht so, dass, wie beim Erwachen und Einschlafen, beide Zustände mit einander abwechseln, sondern so, dass die Unmittelbarkeit der Seele zu einer in jenem Fürsichsein enthaltenen Bestimmung wird. Indem wir erwachen, finden wir uns zunächst in einem ganz unbestimmten Unterschiedensein von der Aussenwelt überhaupt. Erst, wenn wir anfangen zu empfinden, wird dieser Unterschied zu einem bestimmten; während daher das Erwachen ein Urtheil der individuellen Seele genannt werden kann, ist in der Empfindung ein Schluss derselben vorhanden. — Der Gesichtssinn hat zu seinem Gegenstande das Licht und die in Folge der Trübung des Lichtes durch das Finstere erzeugte Farbe. Das Licht ist aber ein physisch-Ideelles, dessen Wesen nur in der Manifestation von Anderm besteht, und das daher auch als immaterielle Materie, als physikalisch gewordener Raum bezeichnet werden kann. Das eigentlich Materielle der Körperlichkeit geht uns dagegen beim Sehen noch nichts an; wir verhalten uns zu den Dingen gleichsam nur theoretisch, noch nicht praktisch, denn wir lassen dieselben beim Sehen ruhig als ein Seiendes bestehen und beziehen uns nur auf ihre ideelle Seite. Der Gesichtssinn wird desshalb von Hegel der Sinn der innerlichkeitslosen Idealität genannt.

[1]) Hegel's Encyklopädie, 3. Thl. (Philosophie des Geistes). S. 113 f. Vergl. a. Thl. 2. (Naturphilosophie). S. 129 u. f.

Die Spekulation hat seit Kant in der Theorie der äussern Erkenntniss, wie die obige Uebersicht zeigt, folgenden Gang genommen: zuerst ist ihr die Anschauung rein eine Thätigkeit des empfindenden Subjektes, eine Beschränkung, die dieses nur sich selbst setzen kann, weil nur das Gleiche auf das Gleiche zu wirken vermag; von diesem Subjektivismus wird sie unversehends zu einem höhern Standpunkt geführt, indem sie jenes Gleiche, durch welches die Thätigkeit des Subjekts beschränkt wird, nicht mehr im Subjekt selber, sondern in den Gegenständen erkennt, und daher die Anschauung als zwei in der ursprünglichen Identität des denkenden Geistes und der Aussenwelt geschehende entgegengesetzte Thätigkeiten bestimmt; bis sie zuletzt, auch von dieser Auffassung unbefriedigt, in der Empfindung jenen Akt sieht, in welchem das von dem Objektiven sich unterscheidende und das mit ihm zusammenfallende Ich sich in ihrer Einheit begegnen, und damit hat diese Richtung der Spekulation einen Standpunkt erreicht, von dem aus ein prinzipieller Fortschritt nicht mehr möglich erscheint.

Eine Kritik der in diesem Gang der Spekulation sich entwickelnden Ansichten über das Wesen der äussern Anschauung würde uns an diesem Orte zu weit führen, da dieselben allzu innig mit den entsprechenden philosophischen Systemen im Ganzen zusammenhängen. Wir glauben aber, es dürfte unsere nur fragmentarische Uebersicht schon einigermaassen geeignet sein, ein Vorurtheil zu widerlegen, das gegenwärtig noch vielfach verbreitet zu sein scheint, das Vorurtheil, als wenn jene Richtung der Spekulation eine rein willkührliche Verirrung sei, die nur aus dem Gehirn einzelner Denker ihren Ursprung genommen habe. Uns scheint im Gegentheil speciell mit Rücksicht auf unsern Gegenstand die Entwicklung, welche die Philosophie unter den Nachfolgern Kant's genommen hat, so sehr dieselbe im Einzelnen auf verderbliche Irrgänge gerathen sein mag, im Ganzen eine geschichtlich berechtigte, ja nothwendige zu sein. Kant hatte durch seine Erkenntnisskritik zwei entgegengesetzte Wege eröffnet, welche die Forschung einschlagen konnte und musste. Kant selber hatte auf dem einen Weg, den seine bisher betrachteten Nachfolger zu Ende führten, den ersten Schritt gethan durch seine Annahme einer Idealität der Anschauungsformen; den zweiten Weg hat Herbart betreten, indem er die Realität der Anschauungsformen vertheidigte und zu beweisen suchte.

Während die idealistische Schule Empfindung und Wahrnehmung nothwendig mit einander konfundirte, werden beide Akte von Herbart wieder streng geschieden[1]). Die Empfindung ist etwas rein Intensives, während die Wahrnehmung die Vorstellung eines Objektes gegenüber andern Objekten und dem Subjekte voraussetzt und desshalb nicht bloss die Sinnlichkeit, sondern nahezu alle Seelenvermögen beschäftigt; die Wahrnehmung ist daher nicht wie die Empfindung etwas Ursprüngliches, sondern sie wird gelernt und durchläuft verschiedene Stufen der Ausbildung. Diejenige Wahrnehmungsform, in welche die Farbenempfindungen des Auges gebracht werden, ist der Raum. Der Raum ist nicht etwas a priori in unserer Anschauung Vorhandenes, sondern er muss von uns aus der Empfindung rekonstruirt werden. Die Art dieser Rekonstruktion leitet Herbart aus seiner metaphysischen Hypothese der Einheit der Seele ab. Jede Stelle der Netzhaut unseres Auges liefert eine gesonderte Empfindung, trotzdem kann die ursprüngliche Auffassung des Auges keine räumliche sein, ebenso sieht das ruhende Auge kein Ausgedehntes, denn die Wahrnehmungen aller farbigen Stellen fallen in die Einheit der Seele zusammen. Aber beim Sehen ist das Auge in Bewegung; es verrückt den Mittelpunkt seiner Gesichtsfläche; hiermit ist unaufhörlich eine zahllose Menge von einander durchkreuzenden Reproduktionen verbunden: auf dieser Succession des Vorstellens und auf den mit ihr verbundenen Reproduktionen beruht die Vorstellung des Räumlichen. Man nehme z. B. an, das Auge bewege sich hin und her über eine bunte Fläche, so erzeugt sich durch jede Bewegung vorwärts eine Menge von Reproduktionsgesetzen, die bei jeder Bewegung rückwärts wegen des erneuerten Anblicks des früher Gesehenen wirksam werden. Dabei hat die Vorstellung von dem, was in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt, immer die grösste Stärke, und diese hemmt die Vorstellungen seitlicher Punkte, so dass von denselben nur gewisse Reste vorhanden bleiben. Das räumliche Vorstellen beruht somit auf einer abgestuften Verschmelzung einer Vorstellung mit einer Reihe anderer Vorstellungen, und zwar entsteht es durch einen solchen Vorstellungsverlauf, dass die Wahrnehmung die ganze Reihe auch verkehrt durchlaufen, niemals aber einzelne Glieder derselben versetzen kann, während z. B. in der Zeitreihe nicht nur keine Versetzung, sondern auch bloss eine

[1]) Lehrbuch zur Psychologie, Th. II. Kap. 3, und Psychologie als Wissenschaft, Thl. II, 1. Abschn. Kap. 3.

Richtung des Vorstellungsverlaufes möglich ist. Herbart führt somit streng genommen alles räumliche Vorstellen auf ein zeitliches Vorstellen zurück, da es uns aber scheint, als ob räumliche Anschauungen ganz simultan und von allem Zeitverlauf frei wären, so nimmt er an, dass die Succession des Vorstellens, auf welcher dieselben beruhen, nur einer unmerklich kleinen Dauer bedürfe.

Das grosse physiologische Verdienst Herbart's besteht darin, dass er, von der nichts erklärenden Hypothese ursprünglicher Anschauungsformen unbefriedigt, in diesen Betrachtungen den ersten Anlauf genommen hat zu einer wirklichen Erklärung der Entstehung des Sehfeldes, und dies ist auch das Hauptziel derjenigen psychologischen Forscher, die an Herbart sich anschliessen.

Waitz[1]) leitet die Entstehung des Sehfeldes aus demselben Prinzip ab, aus dem er die Raumwahrnehmungen der Haut erklärt (s. Abhdlg. I, 1). In einem einfarbigen Raum von Jugend an eingeschlossen würden wir niemals Raumvorstellungen erzeugen können. Treten aber statt der einen zwei Farben im Gesichtsfelde auf, so muss zunächst eine verworrene Auffassung beider stattfinden, jedoch so, dass der stärkere von beiden Reizen verhältnissmässig weniger leidet als der schwächere, es wird also im Ganzen eine ungenaue Wahrnehmung der lebhafteren Farbe entstehen, der zugleich der Mittelpunkt des Auges zugewendet wird. Nach dem bekannten physiologischen Gesetz der abnehmenden Empfänglichkeit des Sehnerven für eine und dieselbe Farbe wird aber nach einiger Zeit der bisherige schwächere Reiz, der die seitlichen Stellen der Netzhaut traf, den Sehnerven stärker ansprechen, und es wird nun diesem der Mittelpunkt des Auges zugekehrt. So werden beide Wahrnehmungen fortfahren abzuwechseln und sich gegenseitig zu stören, bis sie endlich, wenn jede derselben für sich eine consolidirte Macht in der Seele geworden ist, in ein räumliches Nebeneinander übergehen. Ebenso wird es fortgehen, wenn noch mehr Farben gleichzeitig im Gesichtsfeld erscheinen. — Denken wir uns nun einem in Farbenunterschieden schon geübten Auge eine einfarbige Fläche gegenübertreten, so wird nun auch hier die Vorstellung nicht mehr rein intensiv bleiben. Vermöge der Construktion des Auges wird nur derjenige Punkt, dessen Bild auf den Mittelpunkt der Netzhaut fällt, vollkommen scharf gesehen, alle übrigen werden minder genau auf-

[1]) Lehrbuch der Psychologie, §. 20—27.

gefasst. Es sind also, auch wenn die Empfindungsreize objektiv genommen gleich sind, doch die Empfindungen selbst verschieden an Genauigkeit (hierin unterschiede sich nach Waitz das Auge von dem Tastorgan). Diese Verschiedenheit der Empfindlichkeit führt für das geübtere Auge eine Verschiedenheit der Auffassung herbei, die nicht unbemerkt bleiben kann; das vollkommen scharf Aufgefasste kann nicht mehr verschmelzen mit dem nur undeutlich und unbestimmt Gesehenen, es muss daher auch das gleich Gefärbte allmälig auseinander treten zu einer räumlichen Verbreitung.

Lotze[1]) glaubt, dass, wenn verschiedene Punkte der Netzhaut von verschiedenfarbigen Lichtstrahlen getroffen werden, in dieser qualitativen Differenz der Erregungen für die Seele noch kein Grund liege, auch ihre Empfindungen räumlich auseinanderzusetzen, und noch viel weniger werde dies der Fall sein können, wenn die Netzhautstellen von vollkommen gleich gefärbtem Licht getroffen werden. So wenig ein Ton als Empfindungspunkt erscheint, so wenig kann es an sich die Farbenempfindung, sondern es bedarf dazu nothwendig für die Seele besonderer Motive. Diese Motive können nur darin liegen, dass ein gegliedertes System von lokalen Nebenbestimmungen, Lokalzeichen, die das räumliche Auseinandertreten der Empfindungen veranlassen, an die Affektion der einzelnen Netzhautstellen sich knüpft. — Die Herstellung dieser Lokalzeichen denkt sich Lotze beim Auge bewirkt durch ein System von Bewegungen oder vielmehr von Bewegungsanregungen, die nach der Art des Reflexes geschehen sollen. Bekanntlich pflegt die Abbildung eines glänzenden Punktes auf einem der seitlichen Theile der Netzhaut sofort eine Bewegung des Auges hervorzubringen, durch welche sein Bild auf die Stelle des deutlichsten Sehens gebracht wird. Findet nun in dem Fall, wo die Helligkeit dieses Bildes sehr überwiegt, eine wirkliche Bewegung statt, so können wir weiter voraussetzen, dass auch da, wo ein solches Ueberwiegen eines einzelnen Eindrucks nicht stattfindet, doch jede Erregung wenigstens einen Bewegungs**trieb** ausübt. Dieser Trieb wird zunächst nur darauf gerichtet sein, automatisch die der Stelle des Eindrucks entsprechende Bewegung hervorzurufen, zugleich aber wird er eine Veränderung in dem Zustand der Seele bewirken, wodurch dieselbe, obgleich sich in ihr jene Veränderung nicht zur bewussten Vorstellung erhebt, zur räumlichen Lokalisation der farbigen Punkte gezwungen wird. —

[1]) Medicinische Psychologie, §. 30 und 31.

Diese Hypothese über die Entstehung der räumlichen Gesichtswahrnehmungen leitet Lotze zu einer in der Hauptsache sehr wahrscheinlichen Ansicht über die Ursache des Aufrechtsehens. Es ist nämlich klar, dass das Bild eines leuchtenden Punktes auf einem untern Netzhautpunkt ein Drehungsbestreben des Auges nach Oben, hingegen das Bild auf einem obern Netzhautpunkte ein Drehungsbestreben nach Unten erzeugen muss; dem ersten entspricht aber ein Punkt, der für den Tastsinn im Objekt nach Oben gelegen ist, dem zweiten ein im Objekt nach Unten gelegener Punkt. Soll also das durch das Auge gewonnene Gesammtbild mit den Raumvorstellungen des Tastsinns zusammenstimmen, so ist bei unserer Augenorganisation die verkehrte Lage des Netzhautbildes nothwendig.

Waitz und Lotze stehen sich in der Erklärung der Entstehung des Sehfeldes darin gegenüber, dass der Eine auf das sensible, der Andere auf das motorische Moment den Hauptwerth legt. So theilen sich beide Denker in die genaueren Entwicklungen dieser zwei von Herbart aufgestellten Momente. Obgleich nun jene Entwickelungen im Einzelnen von vielem Verdienst sind, so konnten sie doch zu einem Abschluss dieses Gegenstandes nicht führen, weil sie sich einseitig beschränkten. Es ist sehr zweifelhaft, ob eine Ableitung der räumlichen Gesichtsanschauungen aus den Qualitäten der Netzhautempfindung oder den Bewegungen des Auges für sich überhaupt möglich ist; aber gesetzt auch es wäre dies, so würde doch die Erfahrung, der hier allein die letzte Entscheidung zusteht, ihre Einsprache dagegen erheben müssen, denn sie weist nach, dass sowohl auf den ausgebildeten Sinn als auf die Entwicklung der Gesichtswahrnehmungen, insoweit dieselbe der Beobachtung zugänglich ist, beide Momente gleichzeitig einen Einfluss ausüben.

Dritte Abhandlung.

Ueber das Sehen mit einem Auge.

1. Ueber den Einfluss der Accomodation auf die räumliche Tiefenwahrnehmung.

Der Hauptpunkt, in welchem das Sehen mit einem Auge sich von dem gewöhnlichen binokularen Sehen unterscheidet, ist die unvollständigere Wahrnehmung der Entfernungen nach der Tiefe des Raumes. Sehen wir nämlich ab von den unwesentlicheren, das Urtheil mehr nur unterstützenden Momenten der Perspektive, wie Schattirung, Deutlichkeit und Grösse der Gegenstände, die natürlich in beiden Fällen die gleichen sind, so ist beim monokularen Sehen in der Empfindung selber keine Andeutung einer dritten Dimension enthalten, denn im Netzhautbild ist der gesehene Gegenstand projicirt auf eine einzige Fläche; erst dadurch dass uns zwei verschiedene Projektionen eines und desselben Gegenstandes zur Perception kommen, wie dies beim binokularen Sehen der Fall ist, wird schon in die unmittelbare Empfindung etwas gelegt, was nur auf eine Ausdehnung nach der Tiefe des Raumes bezogen werden kann. Von dieser wesentlichen Verschiedenheit je nach dem Sehen mit einem oder mit beiden Augen kann man sich durch blosses Schliessen des einen Auges schon überzeugen: man bemerkt alsbald, dass das Relief erhabener Figuren verschwindet, und zugleich scheinen entferntere Gegenstände näher zu rücken.

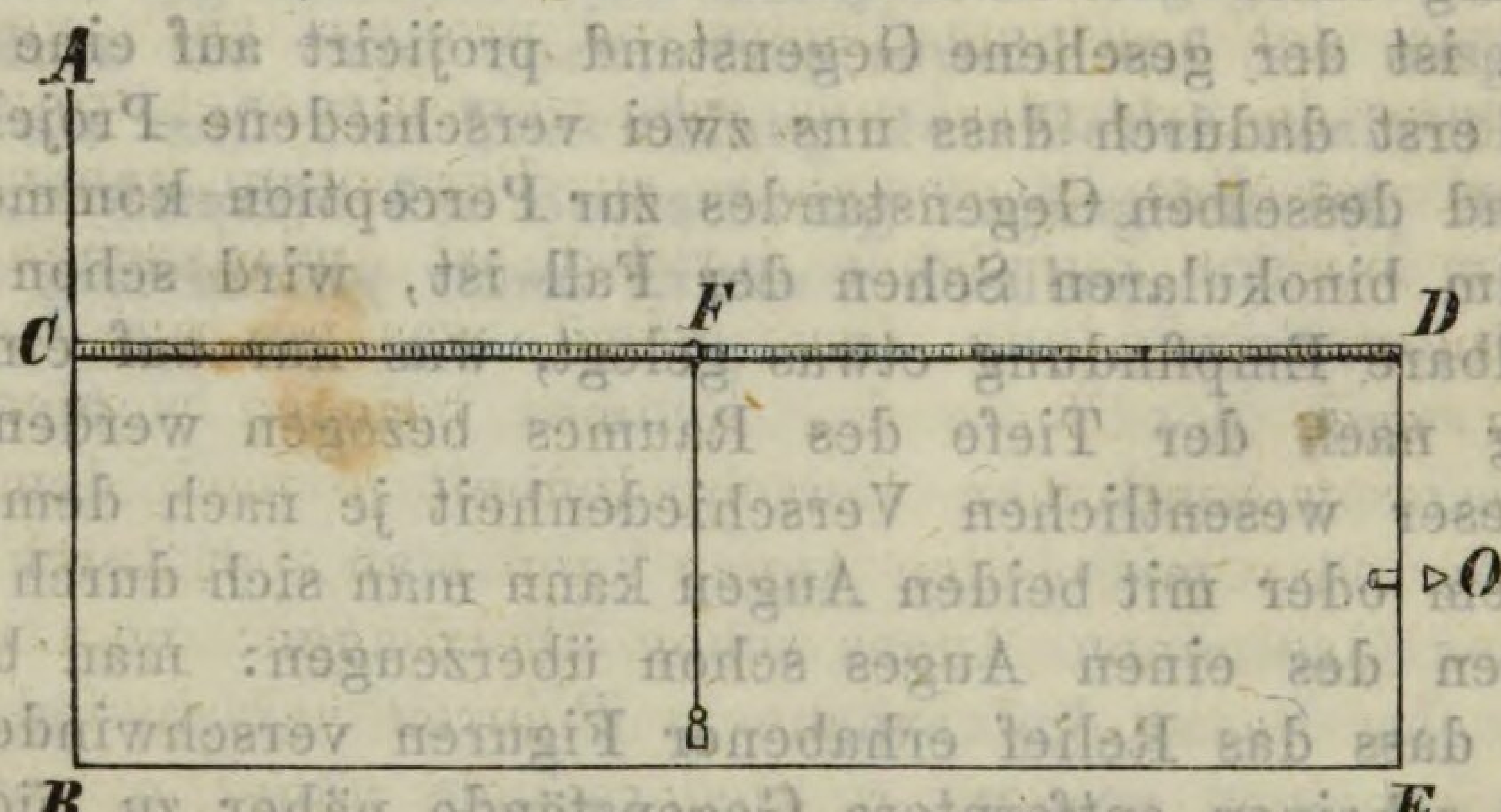
Aber auch beim blossen Sehen mit einem Auge können wir Entfernungsvorstellungen nach der dritten Dimension des Raumes erhalten, nur sind diese meistens nicht, wie beim binokularen Sehen, unmittelbar mit jeder Wahrnehmung gegeben, sondern sie müssen erst aus einer Reihe aufeinander-

folgender Wahrnehmungen entwickelt werden: was dort innerhalb gewisser Grenzen momentan geschieht, das bedarf hier einer zeitlichen Aufeinanderfolge. Es erhebt sich nun die Frage: wie kommt diese Succession der Wahrnehmungen, aus der wir beim monokularen Sehen die Vorstellung der dritten Dimension erhalten und die Schätzung von Entfernungen in derselben vornehmen, zu Stande, und auf welche Weise ist jene Vorstellung und Schätzung mit derselben verknüpft?

Zunächst lässt sich denken, dass eine successive Accomodation des Auges für verschiedene Entfernungen unserm deutlichen Sehen nach einander verschiedene Gegenstände, die in einer und derselben Richtung liegen, wahrnehmbar machen wird, und dass wir vielleicht die Vorstellung der Ausdehnung dieser Richtung sowie die quantitative Schätzung in derselben unmittelbar den Muskelgefühlen des Accomodationsapparates entnehmen, die mit solchen successiven Anpassungen verbunden sind. In der That pflegt man der Accomodation eine derartige Nebenwirkung zuzuschreiben, ohne dass bis jetzt durch Versuche ermittelt wäre, ob und inwiefern man hierzu berechtigt ist. Mit dieser Ermittelung wird sich daher unsere Untersuchung zuerst beschäftigen.

Um den Einfluss der Accomodation für sich beobachten zu können, war es nur nothwendig, alle andern Einflüsse, die etwa bei der Entfernungsbestimmung mitwirken können, auszuschliessen. Dies erreichte ich durch eine Versuchsanordnung, die in Fig. 1. schematisch dargestellt ist.

Fig. 1.



Die Versuchsperson sass hinter der Wand DE, so dass sie nur mit dem einen Auge bei O durch eine innen geschwärzte Röhre von $1/2$ Centim. Länge nach einer weissen Fläche AB blicken konnte. Zwischen AB und DE befand sich eine Skale

CD, an der die Objekte, deren Entfernung geschätzt werden sollte, verschoben wurden; als solche dienten in den meisten Versuchen schwarze Fäden, die unten mit einem geeigneten Gewichte belastet waren. — Zu einer ersten Reihe von Versuchen wurde ein einziger Faden F benutzt. Die Versuchsperson blickte zuerst durch die Röhre nach dem Faden, dann sah sie, während derselbe an der Skale verschoben wurde, zur Seite und blickte hierauf wieder hinein, um die Entfernungsänderung desselben zu bestimmen. So fortfahrend wurde in den verschiedensten Distanzen des Fadens vom Auge die Grenze der Verschiebung bestimmt, bei der noch eine Annäherung oder eine Entfernung wahrgenommen werden konnte. Bei dieser ersten Versuchsreihe musste somit je eine Distanz des Fadens mit einer andern aus dem Gedächtnisse verglichen werden; es war desshalb, um eine solche Vergleichung in hinreichender und unveränderlicher Schärfe zu ermöglichen, nothwendig, dass erstens die Pause zwischen je zwei zu einander gehörigen Sehversuchen nur eine kurze Zeit beanspruchte, und dass zweitens diese Pause in den verschiedenen Versuchen immer die gleiche war.

Man überzeugt sich bei diesen Versuchen sogleich, dass es in denselben durchaus unmöglich ist, über eine absolute Entfernung irgend etwas auszusagen. Vor Allem erscheint die weisse Fläche, auf die man blickt, in gänzlich unbestimmter Weite, man weiss nicht, ob sie dicht vor der geschwärzten Röhre oder in mehr oder minder grosser Ferne sich befindet. Ist nun zwischen der weissen Fläche und dem Auge ein schwarzer Faden aufgehängt, so lässt sich auch über dessen Entfernung — wenn man nicht etwa seine Dicke vorher kennt — nicht das Geringste bestimmen: er erscheint als ein schwarzer Strich, der auf der weissen Fläche gezogen ist. Nur wenn der Faden sich sehr weit oder sehr nahe dem Auge befindet, lässt sich dies erkennen; in beiden Fällen wird dies aber nur aus dem Unvermögen, denselben deutlich zu sehen, geschlossen. Desshalb kommt es manchmal vor, dass ein Faden, der sehr nahe ist, für sehr ferne gehalten wird. Uebrigens ist eine solche Verwechslung selten; bei weitem in der Mehrzahl der Fälle wird mit Sicherheit unterschieden, ob das Objekt wegen allzu grosser Nähe oder wegen allzu grosser Ferne undeutlich erscheine.

Verschiebt man jedoch in der oben angegebenen Weise den Faden, so zeigt es sich, dass, trotzdem sonach über die absolute Entfernung desselben nichts ausgesagt werden kann, doch eine Bestimmung seiner relativen Entfernung vom Auge

möglich ist. Es lässt sich nämlich leicht aus dem Gedächtnisse angeben, ob der Faden im Vergleich zu seiner unmittelbar vorhergegangenen Lage näher oder weiter gerückt sei, ja man hat sogar ein Urtheil über den grössern oder kleinern Grad dieser Verrückung. Aber auch dieses Urtheil ist nur ein relatives und kein absolutes; wird man nämlich aufgefordert, die wirkliche Grösse dieser Verrückung zu schätzen, so ist eine solche Schätzung entweder ganz unmöglich, oder, wenn man sich dazu zwingt, so fällt sie um ein sehr Erhebliches zu klein aus. Dasselbe ist der Fall, wenn man, nachdem man den Faden in verschiedenen Lagen beobachtet hat, glaubt über die absolute Entfernung desselben vom Auge ein Urtheil fällen zu können; ja man schätzt diese Entfernung selbst dann immer noch viel zu klein, wenn man die Dicke des Fadens schon kennt.

Doch selbst die relative Entfernungsschätzung ist nur möglich, wenn die Grösse der Verrückung eine gewisse Grenze überschreitet; bleibt sie unter derselben, so scheint der Faden seine Lage beibehalten zu haben. Diese Unterscheidungsgrenze der Bewegung ist bei verschiedenen Individuen wechselnd und von verschiedenen Umständen abhängig, hauptsächlich aber von der Entfernung, in der das Objekt sich vom Auge befindet. Es ergiebt sich in dieser Hinsicht ein erheblicher Unterschied, je nachdem das Objekt jenseit des Fernpunktes der Accomodation oder diesseits des Nahpunktes oder aber zwischen Fernpunkt und Nahpunkt befindlich ist. Dabei verstehen wir hier unter Fern- und Nahpunkt nicht jene Punkte, die der Deutlichkeit des Bildes auf der Netzhaut eine Grenze setzen, über die hinaus also nur mit Zerstreuungskreisen gesehen wird, sondern jene Punkte, die der Accomodationsbewegung eine Grenze setzen. Beides, Unmöglichkeit der Anpassung und Undeutlichwerden des Bildes, fällt für den Nahpunkt natürlich immer zusammen, für den Fernpunkt aber nur bei einem Auge, dessen Fernpunkt sehr nahe liegt, während bei Entfernungen über 60 Meter für ein normalsichtiges Auge die Zerstreuungskreise verschwindend klein werden und also der Fernpunkt der Deutlichkeit unendlich weit ist.

J e n s e i t d e s F e r n p u n k t e s wird nun die Schätzung der Entfernung lediglich bestimmt durch die G r ö s s e der Gegenstände. Dies ergiebt sich theils aus der unmittelbaren Selbstprüfung des Beobachters, theils lässt es sich auch objektiv beweisen. Hängt man z. B. zuerst ein kleines und dann ein grosses schwarzes Quadrat jenseit des Fernpunktes an einer und derselben Stelle vor dem weissen Hintergrund auf, so

glaubt der Beobachter arglos, es sei beide Male ein und dasselbe Quadrat gewesen, dasselbe sei aber aus grosser Ferne in grössere Nähe gerückt; über die absolute Grösse und Entfernung des Quadrats kann er dabei gar nichts aussagen. Hängt man einen Faden jenseits des Fernpunktes auf und verschiebt denselben um verschiedene Entfernungen, so wird diese Verschiebung erst wahrgenommen, sobald dadurch der scheinbare Durchmesser des Fadens sich um ein Merkliches geändert hat. Darum ist die Grösse der nothwendigen Verschiebung abhängig vom Durchmesser des Fadens oder überhaupt des zu beurtheilenden Objektes: ein Objekt von grösserem Durchmesser muss eine beträchtlichere Verrückung erfahren, bis die scheinbare Aenderung seines Durchmessers merklich wird, als ein kleineres Objekt. Dabei ist es in allen Fällen gleichgültig, ob der Faden bei der Verschiebung genähert oder entfernt wird, beide Male ist die Unterscheidungsgrenze von gleicher Grösse: dies ist desshalb von Wichtigkeit, weil, wie wir sehen werden, hierin ein wesentlich unterscheidendes Merkmal liegt jener Entfernungsschätzungen, die aus der Grösse oder andern Eigenschaften der Gegenstände genommen sind, von jenen, die sich auf die Accomodationsbewegungen gründen.

Auch innerhalb der Accomodationsgrenzen ist die Grösse des Gegenstandes noch von Einfluss auf die Schätzung seiner Entfernung. Auch hier nämlich begegnet es zuweilen, dass zwei ungleiche Quadrate, wenn ihre Verschiedenheit nur gering ist, für gleich gross aber verschieden gehalten werden; ist ferner die Verschiedenheit der Quadrate erheblicher, so wird dieselbe immer erkannt, doch ist es in diesem Fall immer noch die Regel, dass das grössere Quadrat zugleich für näher gehalten wird. Ebenso ist es constant, dass, wenn man zwei Fäden von verschiedener Dicke in gleicher Entfernung vom Auge aufhängt, der dickere Faden näher zu sein scheint, und es muss derselbe um eine ziemliche Strecke von dem dünneren fortrücken, bis er wirklich ferner erscheint.

Immer jedoch ist innerhalb der Accomodationsgrenzen die scheinbare Grösse auf das Urtheil über die relative Lage zweier Gegenstände von untergeordnetem Einflusse; bei weitem überwiegend ist hier der Einfluss der Accomodationsbewegungen selber. Mit der Accomodation ist ein Gefühl im Auge verbunden, aus dem ein Schluss auf die Annäherung des beobachteten Gegenstandes gemacht wird. Dieses Accomodationsgefühl wird theils durch die aufmerksame Selbstbeobachtung wahrgenommen, theils lässt es sich sogar objektiv nachweisen. Eine Annäherung des Gegenstandes wird nämlich schon wahr-

genommen, wenn die scheinbare Grösse desselben sich noch gar nicht merklich verändert hat, so dass also die Accomodationsbewegung das einzige Moment ist, auf das jene Wahrnehmung möglicher Weise sich gründen kann. Anders ist dies mit der Entfernung des Gegenstandes. Diese wird erst bemerkt, wenn der Gegenstand durch Weiterrücken eine sichtbare Verkleinerung seines Durchmessers erfahren hat. Daher ist in allen Fällen innerhalb der Accomodationsweite die Unterscheidungsgränze für die Annäherung des Gegenstandes eine bei weitem feinere als die Unterscheidungsgränze für die Entfernung desselben.

Schon diese Verschiedenheit der Unterscheidungsgränze für Näherung und Entfernung, die sich nur innerhalb der Grenzen des Anpassungsvermögens findet, lässt sich einzig und allein dadurch erklären, dass die Annäherung eines Gegenstandes durch die die Anpassung des optischen Apparates für denselben bedingende Accomodationsbewegung wahrnehmbar wird, während beim Fernerrücken des Gegenstandes diese Anpassung nicht von einer fühlbaren Bewegung innerer Augenmuskeln begleitet ist, so dass hier erst, wie bei den Entfernungsschätzungen jenseits des Fernpunktes, die bemerkbare Grössenänderung des Gegenstandes die Wahrnehmung vermittelt. Es ist dies lediglich ein besonderer Fall der allgemeinen Thatsache, dass nur die aktive Zusammenziehung gewisser Muskeln von einem an die Bewegung gebundenen Gefühle begleitet ist, während dem Nachlass der Zusammenziehung, der Erschlaffung niemals ein Muskelgefühl folgt. Aber es giebt überdies noch einige weitere Umstände, welche den Beweis führen helfen, dass innerhalb der Accomodationsgrenzen das Näherrücken der Objekte aus den Accomodationsbewegungen erschlossen wird. Erstens nimmt die Feinheit der Unterscheidung für die Annäherung ab in Folge der Ermüdung, während für die Entfernung eine solche Abnahme nicht stattfindet oder doch nur geringgradigere Schwankungen auftreten, die sich aus der Schwierigkeit lange Zeit bei der Beobachtung die gleiche Aufmerksamkeit zu behalten erklären. So sank z. B. bei einem etwas fernsichtigen Auge und bei einer Distanz des $^1/_2$ Mm. dicken Fadens von 100 Cm. die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung allmälig von 3 Cm. durch Ermüdung bis auf 10 Cm., für die Entfernung betrug sie während der ganzen Zeit constant 10 Cm. Die anfänglich sehr überwiegende Feinheit der Schätzung bei der Annäherung nahm also so lange ab, bis sie der ungeändert gebliebenen Schätzung bei der Entfernung gleich wurde, bis also offenbar auch bei ersterer nicht mehr die Accomoda-

tionsbewegung sondern wie bei letzterer allein die merkbare Grössenänderung massgebend wurde. Zugleich rückt in Folge der Ermüdung der Nahpunkt, d. h. der Punkt, bei welchem die Zerstreuungskreise merkbar zu werden beginnen, etwas weiter vom Auge weg. — Ein zweiter Umstand, welcher für den Schluss aus den Accomodationsbewegungen beweisend ist, ist der, dass innerhalb der Accomodationsweite beim Näherrücken des Gegenstandes der Durchmesser desselben auf die Unterscheidungsgrenze ohne Einfluss ist, während dieser Einfluss beim Fernerrücken ebenso merkbar wird wie bei allen Entfernungsschätzungen jenseits des Fernpunktes.

Die Ermüdung der Accomodationsmuskeln, die bei diesen Versuchen sehr bald sich geltend macht, sowie die nicht ganz zu umgehende Veränderlichkeit der Aufmerksamkeit ist die Ursache, dass die oben erörterten Unterscheidungsgrenzen nicht zu jeder Zeit sich gleich bleiben. Ausser der erwähnten Abnahme in der Feinheit der Unterscheidung für die Annäherung finden sich geringgradigere Schwankungen in beiden Unterscheidungsgrenzen, die um so erheblicher und störender werden, je länger und je anhaltender ein Versuch fortgesetzt wird. Sie zu vermeiden bildet die einzige Schwierigkeit dieser Untersuchung, und es ist desshalb die Vorsichtsmassregel nothwendig, eine Versuchsreihe nicht zu lange auszudehnen und zwischen den einzelnen Sehversuchen passende Erholungspausen eintreten zu lassen. Ein anderer Umstand, der noch eine Veränderlichkeit bedingt, ist die bei längere Zeit an demselben Individuum angestellten Versuchen eintretende Uebung, die übrigens auch bei den Schätzungen jenseits des Fernpunktes und diesseits des Nahpunktes in geringem Grade sich geltend macht. Die hierdurch bedingte fortschreitende Zunahme in der Feinheit der Unterscheidungsgrenzen, die sich natürlich nicht vermeiden lässt, ist übrigens für unsere Versuche nicht von störendem Einflusse, denn nach dem Gesagten ist es klar, dass es sich im vorliegenden Falle, bei einer Funktion, die so sehr nicht bloss von individuellen Eigenthümlichkeiten sondern überdiess von den verschiedensten äusseren Einflüssen, namentlich einer durch Uebung erworbenen Fähigkeit, abhängt, um eine Feststellung absoluter Zahlenverhältnisse niemals handeln kann, sondern dass hier immer nur an relative Bestimmungen zu denken ist.

Wenn somit die Unterscheidungsgrenze für die Lageänderung eines Gegenstandes in der dritten Dimension sehr unter dem Einfluss verschiedener Verhältnisse steht und namentlich durch eine fortgesetzte Uebung in hohem Grade verfeinert werden

kann, so kann sie doch durch die letztere niemals auf Null herabsinken, sondern sie nähert sich gewissermassen assymptotisch einem gewissen endlichen Werthe, ja dieser Werth ist von ziemlich erheblicher Grösse verglichen mit der um vieles feineren Unterscheidungsfähigkeit beim Sehen mit zwei Augen. Uebrigens ist jener Werth immer abhängig von der Distanz des Gegenstandes vom Auge, und er nimmt nach einem bestimmten Gesetze ab mit der Verringerung dieser Distanz.

Was speciell die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung des Gegenstandes betrifft, die dem Obigen zufolge auf den Accomodationsbewegungen beruht, so wird derselben schon dadurch ein gewisses Ziel gesetzt, dass unser Auge niemals bloss für einen einzigen Punkt, sondern immer für eine Reihe hinter einander liegender Punkte, d. h. für eine Linie accomodirt ist. Czermak, der zuerst auf dieses Verhalten aufmerksam machte, hat diese Linie Accomodationslinie genannt[1]). Das Vorhandensein einer solchen Linie hat lediglich seinen Grund in der begränzten Empfindungsschärfe der Retina, für welche Zerstreuungskreise von sehr kleinem Durchmesser nicht mehr vorhanden sind. Optisch eingerichtet ist aber das Auge immer nur für einen Punkt; Czermak hat diesen Punkt als Accomodationspunkt bezeichnet. Derselbe liegt nicht ganz in der Mitte der Accomodationslinie, sondern etwas näher dem Auge, wie aus der Veränderung folgt, welche die Accomodationslinien mit ihrer Entfernung vom Auge erfahren. Es zeigt sich nämlich, dass die Accomodationslinien von sehr verschiedener Grösse sind, und zwar sind sie um so kleiner und um so schärfer begränzt, je näher sie sich dem Auge befinden, d. h. diejenige Tiefendistanz, in welcher gleichzeitig mit gleicher Deutlichkeit gesehen werden kann, ist um so beschränkter, auf einen je näheren Punkt das Auge accomodirt ist. Dieses Resultat der Beobachtung liess sich schon aus dioptrischen Gesetzen voraussehen. Berechnet man nämlich, wie es zuerst Listing gethan hat[2]), für ein Auge, das man auf paralleles Licht eingerichtet und der weiteren Accomodation unfähig voraussetzt, bei gegebenen Objektweiten die Strecken, um welche die Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen hinter der Retina liegen, oder auch die Durchmesser der Zerstreuungskreise, so geben die hier erhaltenen Zahlen ein Maass ab für den Umfang der in jedem einzelnen Falle nothwendigen Accomodation. Dabei zeigt es sich nun, dass ein normalsichtiges Auge von ∞ bis zu

[1]) Sitzungsberichte der Wiener Akademie. Bd. 12. 1854. S. 322 u. f.
[2]) Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. Bd. IV. S. 499.

65 Metern gar keiner Anpassung bedarf, ja dass selbst bis zu 20 Metern die nothwendige Grösse derselben äusserst gering ist, mit fortschreitender Annäherung an's Auge nimmt dieselbe aber immer rascher und zuletzt so erheblich zu, dass bei einer Entfernung von 14 Millimetern eine Annäherung des leuchtenden Punktes um nur 6 Millim. den Durchmesser des Zerstreuungskreises um mehr als $^1/_{10}$ Millim. vergrössern würde, wenn keine Accomodation stattfände.

Unsere Versuche geben eine neue Methode zur Bestimmung der Accomodationslinien ab. Diese sind nämlich offenbar mit jenen Unterscheidungsgrenzen der Annäherung, welche überhaupt erreicht werden können, identisch. Ein oberflächliches Maass für die verschiedene Grösse der verschiedenen Accomodationslinien kann man erhalten, indem man einen Faden von gehöriger Länge, dessen im Gesichtsfelde liegender Theil sich nahe dem untern Ende befindet (damit die Annäherung und Entfernung des gesehenen Fadenstücks an allen Punkten nahezu gleichförmig ist), in verschiedenen Entfernungen vom Auge Schwingungen machen lässt. Lässt man diesen Faden in der Ebene der Sehaxe Schwingungen machen, so bemerkt der Beobachter die Bewegung desselben erst, wenn die Amplitude der Schwingungen eine gewisse Grösse erreicht, und diese Grösse ist um so bedeutender, je ferner der Faden sich vom Auge befindet. Ist die Amplitude der Schwingungen kleiner, so scheint der Faden in vollkommener Ruhe zu bleiben. Lässt man den Faden kreisförmige oder elliptische Schwingungen von geringem Umfange machen, so scheint dem Auge die Bewegung nur in einer Ebene, und zwar in der auf die Sehaxe senkrechten Ebene vor sich zu gehen, während der Theil der Bewegung, der nach der Tiefe des Raumes geschieht, unbemerkt bleibt; der Faden scheint daher bloss horizontal zu pendeln. — Man kann nun die Grösse der Accomodationslinie für eine bestimmte Entfernung vom Auge annähernd bestimmen, indem man in derselben den Faden Schwingungen in der durch die Sehaxe gelegten Ebene machen lässt, und diejenige Grösse der Amplitude notirt, welche gerade nothwendig ist, damit die Bewegung wahrnehmbar wird. Hierbei findet man übrigens, dass das Auge mit seiner Accomodation der Bewegung des Fadens, wenn diese nicht eine sehr langsame ist, nicht zu folgen vermag, sondern auf dieselbe erst daraus schliesst, dass der Faden abwechselnd deutlicher und undeutlicher wird.

Die Art, wie sich innerhalb der Breite des Accomodationsvermögens die Unterscheidungsgrenze mit der Veränderung der

Distanz vom Auge verändert, ist für die Annäherung und Entfernung des Objektes verschieden. Diesseits des Fernpunktes nimmt nämlich die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung sehr rasch an Feinheit zu, während sie für die Entfernung noch einige Zeit constant bleibt und dann gleichfalls allmälig an Feinheit wächst; mit der Verringerung der Distanz vom Auge wird die erstere Zunahme geringer, und die letztere bedeutender, bis endlich beim Nahpunkte beide Unterscheidungsgrenzen wieder sich gleich geworden sind. Als Beispiel führe ich eine Beobachtungsreihe an einem etwas fernsichtigen Auge von beschränktem Accomodationsvermögen an, dessen Fernpunkt 250, der Nahpunkt 40 Cm. vom Auge entfernt lag. Derartige Augen sind zu diesen Versuchen besonders bequem, weil sie schon innerhalb eines beschränkten Raumes alle Verhältnisse, um die es sich hier handelt, klar zu Tag treten lassen, und weil bei denselben auch diesseits des Nahpunktes noch Raum genug zur Untersuchung vorhanden ist.

Entfernung des Fadens vom Auge.	Unterscheidungsgrenze für Annäherung —	für Entfernung.
250	12	12
220	10	12
200	8	12
180	8	12
100	8	11
80	5	7
50	4,5	6,5
40	4,5	4,5

Diesseits des Nahepunktes bleiben die Unterscheidungsgrenzen für Näherung und Entfernung sich vollständig gleich, werden aber immer noch um so feiner, je mehr sich die Distanz vom Auge verringert. So sank bei dem Auge, von dem die obige Beobachtungsreihe genommen ist, bei einer Distanz von 20 Cm. die Unterscheidungsgrenze auf 1 Cm. und bei noch weiterer Annäherung sogar auf einige Millimeter herab. Sie ist aber in solcher Nähe sehr schwankend und nimmt bald wieder zu, indem beim Ermüden der Accomodation das Fernertreten des Nahepunktes die Momente verändert, die auf das Urtheil von Einfluss sind. — Diesseits des Nahepunktes wird wieder ähnlich wie jenseits des Fernpunktes die Schätzung der Lageänderung lediglich auf die Veränderungen gegründet, die das objektive Bild hierbei erleidet. Aber das Urtheil wird hier nicht wie dort durch den scheinbaren Durchmesser sondern allein durch die grössere oder geringere Undeutlichkeit

des Gegenstandes geleitet. Die bei grösserer Annäherung auftretende Zunahme der Zerstreuungskreise giebt namentlich nach einiger Uebung ein sehr scharfes Maass für jede Entfernungsänderung ab. — Alle Sehversuche diesseits des Nahpunktes haben das Eigenthümliche, dass sie das Auge in hohem Grade ermüden. Der Grund hiervon liegt darin, dass jeder undeutlich gesehene Gegenstand das unwillkürliche Bestreben hervorruft, das Auge auf ihn zu accomodiren und ihn dadurch deutlich zu machen. Jenes Bestreben wird nun um so ermüdender, weil die angewandte Anstrengung der Accomodationsmuskeln keinen Erfolg hat und sich desshalb, wie es scheint, ein das Sehen von Zerstreuungskreisen begleitendes Unlustgefühl, welches psychischer Natur ist, damit verbindet.

In unsern bisherigen Versuchen wurde immer ein und dasselbe Objekt in zwei verschiedenen Entfernungen unmittelbar nach einander beobachtet; es müssen hierbei immer die zwei zusammengehörigen Beobachtungen sehr schnell sich folgen und die Verschiebungen mit grosser Raschheit geschehen, so dass der Sehende gar kein Besinnen nöthig hat sondern im Moment des Sehens mit seinem Urtheil über die Lageänderung fertig ist. Eine zweite Versuchsmethode besteht nun darin, dass man statt des einen gleichzeitig zwei Fäden aufhängt, die in der auf die Sehaxe senkrechten Richtung eine constante Entfernung von einander behalten, deren Entfernung in der Richtung der Sehaxe selber aber veränderlich ist. Diese Fäden, die man sowohl von gleichem als von ungleichem Durchmesser nehmen kann, hängt man in den verschiedenen Distanzen vom Auge auf und giebt ihnen in denselben wieder verschiedene gegenseitige Distanzen, bis man diejenige Entfernung herausfindet, in der sie gerade noch parallel zu sein scheinen.

Jenseits des Fernpunktes und diesseits des Nahepunktes ergeben die so angestellten Versuche nichts von den vorigen Abweichendes. Im ersteren Fall ist es allein der scheinbare Durchmesser, in letzterem die grössere oder geringere Undeutlichkeit des Fadens, die das Urtheil bestimmen. So z. B. erscheint von zwei ungleich dicken Fäden, die jenseits des Fernpunktes aufgehängt sind, der dünnere, auch wenn er in der That näher ist, so lange der weiter entfernte zu sein, als eine Verschiedenheit im scheinbaren Durchmesser vorhanden ist. Anders ist dies innerhalb der Accomodationsgrenzen. Auch hier ist noch die Grösse des Gegenstandes von einigem Einflusse, aber dieser geht niemals so weit, dass eine erhebliche Durchmesserverschiedenheit der zwei Fäden allein auf eine verschiedene Entfernung derselben bezogen würde, doch bleibt

auch hier eine Neigung vorhanden, den dickeren Faden zugleich für den näheren anzusehen. Der hierdurch hervorgerufene Irrthum ist um so grösser, je weiter die Gegenstände vom Auge entfernt sind. Als Beispiel führe ich einen Versuch an einem fast normalsichtigen Auge an, in dem ein $1^1/_2$ Mm. und ein $^1/_2$ Mm. dicker Faden als Versuchsobjekte angewandt wurde. Bei einer Entfernung des dickeren und zugleich weiteren Fadens von 185 Cm. betrug diejenige Distanz der beiden Fäden, in welcher sie gerade noch als gleichweit erschienen, nicht weniger als 75 Cm. In einer Entfernung von 70—100 Cm. sank diese Distanz auf 20 Cm., und endlich bei 20 Cm. Entfernung war sie nur noch = 2 Cm. Es war aber (wenn man aus diesen Daten und Listing's Constanten für das schematische Auge den Durchmesser der Netzhautbilder berechnet) der Unterschied in der Grösse der Netzhautbilder beider Fäden im ersten Fall = 0,055 Mm., im zweiten Fall = 0,125 Mm., und im dritten Fall = 0,63 Mm., woraus sich ergiebt, dass die Entfernungsschätzung um so unabhängiger von der scheinbaren Grösse des Gegenstandes wird, je näher derselbe rückt. Die Zunahme dieser Unabhängigkeit erfolgt bei grösserer Annäherung mit wachsender Geschwindigkeit und erreicht endlich in der Gegend des Nahepunktes ein Minimum, wo der Einfluss der Grösse nicht mehr merklich wird und daher der Versuch mit ungleich dicken Fäden dieselben Resultate giebt wie mit vollkommen gleichen.

Nimmt man zu diesen Versuchen zwei Fäden von gleichem Durchmesser, so lassen sie sich wie die früheren zur Bestimmung der Unterscheidungsgrenzen der Annäherung benutzen. Diese sind nämlich offenbar gleich jenen Distanzen der beiden Fäden, in denen dieselben gerade noch gleich weit erscheinen. Dass auf diese Weisse die Unterscheidungsgrenzen der Annäherung und nicht der Entfernung gemessen werden, geht aus dem Folgenden hervor. Die Beobachtung zeigt, dass, wenn mehrere Fäden vor dem weissen Hintergrund aufgehängt sind und das Auge plötzlich durch die geschwärzte Röhre hindurchsieht, nur dann sämmtliche Fäden gleichzeitig im ersten Momente gesehen werden, wenn sie entweder parallel oder sehr wenig von einander entfernt sind. Ist die Entfernung grösser, so sieht man zuerst nur einen Faden, dann den zweiten, u. s. f., bis succesiv alle aufgefasst sind. Dasjenige unter den dem Auge gleichzeitig dargebotenen Objekten, welches hierbei immer zuerst gesehen wird, ist das dem Nahpunkt am nächsten liegende und daher der deutlichsten Wahrnehmung fähige, und diesem folgen die übrigen in der Reihenfolge ihrer Entfernung vom

Nahpunkte. Würde nun unmittelbar nach dieser einen Reihe successiver Accomodationen die Entfernungsschätzung vorgenommen, so müsste man allerdings erwarten, dass die Unterscheidungsgrenzen der Entfernung und nicht der Annäherung gemessen würden. Dies ist aber gewöhnlich nicht der Fall, denn der Beobachter sucht unwillkürlich seiner Schätzung den möglichsten Grad von Genauigkeit zu geben und beschränkt sich daher nicht auf die erstmalige successive Auffassung, sondern er wiederholt dieselbe noch ein Mal oder selbst mehrmals in der umgekehrten Reihenfolge. Alle diese Bewegungen gehen übrigens mit sehr grosser Geschwindigkeit vor sich, und zwar mit um so grösserer Geschwindigkeit, je geringer die gegenseitige Entfernung der Objekte ist. Bei einer gewissen Nähe geht dies so weit, dass eine weniger aufmerksame Selbstbeobachtung leicht glaubt, dass die Auffassung vollkommen gleichzeitig sei, obgleich sie in der That nur in äusserst rascher Zeitfolge geschieht; hier kann daher auch die aufmerksamere Beobachtung meistens nur so weit kommen, dass sie die Succession überhaupt inne wird, über die Art derselben aber unsicher bleibt, dagegen lässt sich diese sowie die öfteren hin- und hergehenden Accomodationsbewegungen vor der Abschliessung des Urtheils leicht und deutlich verfolgen, wenn man den Fäden eine grössere Entfernung von einander giebt.

In Bezug auf die Grösse der Unterscheidungsgrenzen der Annäherung geben diese Versuche nichts von den früheren erheblich Abweichendes. Dagegen sind die Täuschungen bemerkenswerth, die hier sehr häufig auftreten, wenn man die relative Lage der beiden Fäden zu einander verändert. Jene Täuschungen kommen zwar nur vor, so lange diese Veränderung innerhalb engerer Grenzen geschieht, hier sind sie aber auch viel häufiger als richtige Wahrnehmungen. Die Art dieser Täuschungen ist nicht ganz zufällig, sondern Täuschungen bestimmter Art zeigen sich besonders häufig bei bestimmten Lageänderungen. Wenn man den einen der beiden Fäden verrückt und den andern in Ruhe lässt, so ist eine doppelte Täuschung möglich und kommt vor: entweder glaubt der Beobachter, der gebliebene Faden habe seine Lage verändert und der veränderte sei geblieben, oder er glaubt, beide Fäden hätten gleichzeitig ihre Lage verändert. Am ehesten noch wird es richtig erkannt, wenn man mit dem näheren Faden eine kleine Verrückung vornimmt, namentlich wenn man denselben noch näher rückt, rückt man denselben ferner, so wird dies schon oft missdeutet und entweder auf eine Annäherung des weiteren Fadens oder auf eine Verschiebung beider Fäden bezogen. Dagegen ist

bei kleinen Lageveränderungen des ferneren Fadens die Täuschung geradezu die Regel, und zwar glaubt man gewöhnlich, wenn derselbe näher rückt, beide Fäden hätten sich genähert, während man, wenn er ferner rückt, meistens glaubt, er habe seine Lage beibehalten, dagegen sei der nähere Faden in noch grössere Nähe gekommen. Im Ganzen sind die Täuschungen am häufigsten beim Fernerrücken des einen Gesichtsobjektes, und zwar wird dasselbe dann gewöhnlich mit einer Annäherung des andern in Ruhe gebliebenen Objektes verwechselt. Die Erklärung dieser Täuschung liegt in der früher erörterten Thatsache, dass wir über die Entfernung der Gegenstände aus den Accomodationsbewegungen nichts erfahren, wohl aber über die Annäherung derselben. Entfernt sich also von zwei Objekten das eine um eine so geringe Grösse, dass sein scheinbarer Durchmesser sich nicht verändert, während das andere in Ruhe bleibt, so bemerken wir jenes Fernerrücken nicht, wohl aber bemerken wir, dass die Distanz der Objekte sich entweder vergrössert oder verkleinert hat, und hieraus müssen wir dort auf eine grössere Annäherung des näheren, hier auf eine grössere Annäherung des ferneren Gegenstandes schliessen.

Unsere Versuche ergeben rücksichtlich des Einflusses der Accomodation folgende Hauptresultate:

1) die Accomodation trägt, wie sich von vornherein einsehen liess, nur innerhalb der Grenzen des Accomodationsvermögens zur Bestimmung der Entfernungen bei; 2) aber auch hier sagt die Accomodation niemals etwas aus über die absolute Entfernung der Gegenstände im Raume, sondern sie giebt nur eine äusserst oberflächliche Kenntniss ihrer relativen Lage, indem sie es möglich macht das Nähere vom Ferneren zu unterscheiden; 3) wenn ferner ein und dasselbe Objekt seine Lage im Raume ändert, so giebt uns die Accomodation für sich nur Aufschluss über eine Art dieser Lageänderung, nämlich über die Annäherung an's Auge; 4) damit aber diese Annäherung durch die Accomodation wahrnehmbar werde, muss sie eine bestimmte Grösse erreichen, die mit der Entfernung vom Nahpunkte zunimmt, d. h. in jeder Distanz vom Auge existirt eine bestimmte Unterscheidungsgrenze der Annäherung; 5) diese Unterscheidungsgrenze ist endlich nicht von constanter Grösse, sondern namentlich in hohem Grade dem in längerer Zeit wirksam werdenden Einflusse der Uebung und dem in kürzerer Zeit sich geltend machenden Einfluss der Ermüdung unterworfen.

2. Ueber die Accomodationsbewegungen und deren Abhängigkeit vom Willen.

Wir haben den objektiven Beweis geführt, dass nur die Wahrnehmung der Annäherung der Gegenstände durch die Accomodation vermittelt werden kann, nicht aber die Wahrnehmung ihrer Entfernung, wesshalb die beiden Unterscheidungsgrenzen innerhalb der Weite der Accomodation beträchtliche Unterschiede zeigen. Hieraus ergiebt sich der Schluss, der überdies in der subjektiven Beobachtung seine Bestätigung findet, dass nur dann ein Accomodationsgefühl vorhanden ist, wenn der Anpassungsapparat von der Ferne auf grössere Nähe sich einrichtet, nicht aber im umgekehrten Falle. Es frägt sich nun: steht diese Thatsache in Uebereinstimmung mit dem was aus andern Erfahrungen über die Beschaffenheit des Accomodationsmechanismus bekannt ist, und wie lässt sie sich aus dieser erklären? —

Cramer[1]) zog aus seinen Versuchen, in denen er den elektrischen Strom bald durch das unverletzte Auge bald durch das Auge, dessen Iris vom Ursprungskreis losgetrennt war, schickte, den Schluss, dass die Iris im Verein mit dem musc. tensor chorioideae die Accomodation zu Stande bringe. Reizt man nämlich, indem man die Drähte eines Induktionsapparates nahe am Ursprung der Iris an's Vogelauge ansetzt, so verengt sich, wie schon Weber gefunden hat, die Pupille, und gleichzeitig erleidet nach Cramer's Beobachtung das von der Vorderfläche der Linse stammende Spiegelbildchen eine ähnliche Veränderung wie bei der Accomodation für die Nähe; beobachtet man unter gleichen Verhältnissen am Seehundsauge mit dem Mikroskop das auf der Hinterfläche des Glaskörpers entworfene Bild, so bemerkt man ein Undeutlicherwerden desselben, was auf eine Veränderung der Refraktion schliessen lässt. Beides hört auf, sobald man die Iris von ihrem Ursprungskreis losgelöst hat. Aus diesem Grunde legt Cramer auch dem tensor chorioideae nur eine untergeordnete Bedeutung bei, auf seine Wirkung schliesst er übrigens daraus, dass, nachdem die Iris mit der Cornea entfernt war, sich zwar bei Anwendung des elektrischen Stromes keine Aenderung in der Refraktion mehr entdecken liess, dass aber schon dem blossen Auge während der Dauer des Stromes einige Anspannung der processus ciliares bemerklich war. Eine grössere Wichtigkeit legte später Donders[2]) dem musc. tensor chorioideae bei, indem er annahm,

[1]) Das Accomodationsvermögen der Augen, übers. von Doden. Leer 1855.
[2]) Nederl. Lancet. 1853.

dass derselbe seinen Fixationspunkt in der Chorioidea habe und daher seine vordere Ansatzstelle, den Faserring der membrana Descemeti, nach hinten ziehe. Dadurch aber wird die Peripherie der Iris nach hinten verrückt und fixirt und gewinnt so erst die günstige Stellung, um jene Wirkung üben zu können, die ihr nothwendig ist, um die Accomodationsveränderungen an der Linse hervorzubringen. Was den Mechanismus der letzteren betrifft, so schliesst Donders im Wesentlichen der Hypothese von Cramer sich an.

Cramer sucht nämlich den Einfluss der Iris auf die Linsenkrümmung in dem Druck, welchen dieselbe bei der gleichzeitigen Verkürzung ihrer Kreis- und Längsmuskelfasern, wodurch sie ihre gekrümmte in eine ebene Fläche zu verwandeln strebt, auf die in ihrer Concavität gelegenen Theile ausübt. Dieser Druck wird weiter geleitet durch die processus ciliares und die Zonula Zinnii und pflanzt sich auf die im canalis Petiti enthaltene Flüssigkeit fort, um von da auf den Rand der Linse und den Glaskörper übertragen zu werden. Die gedrückte Linse soll nun die weichere Cortikalsubstanz ihrer Vorderfläche gleichsam hervorquellen lassen, und so die Accomodation für die Nähe zu Stande bringen.

In dem letzterwähnten Punkt liegt nun, wie Helmholtz nachgewiessen hat, die Schwierigkeit der Cramer'schen Hypothese. Denn nimmt man, wie dies Cramer zu thun scheint, an, dass die stärkere Krümmung nur auf den unbedeckten Theil der vordern Fläche wegen seiner weicheren Beschaffenheit sich ausdehne, so widerspricht dies den genauen Messungen von Helmholtz[1]), aus denen sich ergiebt, dass die Formänderung der Linse einen viel grösseren Umfang hat. Nimmt man aber an, dass die ganze Peripherie der Linse gleichmässig dem auf sie ausgeübten Druck folgt, so müsste man im Gegentheil eine viel umfangreichere Formänderung erwarten, als die Beobachtung nachweist, es würde dann nämlich nicht bloss die Vorderfläche der Linse vortreten und convexer werden, sondern es müsste auch die Mitte ihrer hinteren Fläche vorgedrängt und weniger convex werden. Dagegen haben aber die Untersuchungen von Helmholtz ergeben, dass die hintere Fläche der Linse ihren Platz nicht verändert und nicht flacher, sondern ein wenig gewölbter wird. Um diese Formänderung der Linse vollständig erklären zu können, nimmt Helmholtz neben der Wirkung der Iris, in Bezug auf welche er sich an Donders und Cramer anschliesst, noch eine eigenthümliche Wirkung des musc. tensor

1) Archiv für Ophthalmologie, Bd. I. Abth. II.

chorioideae zu Hülfe. Er macht nämlich folgende Schlussfolgerung: da die Linse ihr Volum nicht verändern kann, so muss gleichzeitig mit der Vergrösserung ihres Längsdurchmessers ihr Aequatorialdurchmesser sich verkleinern, die Hauptkräfte bei der Accomodation für die Nähe müssen also an den Rändern der Linse gesucht werden, es muss beim Nahesehen ein vermehrter Druck oder ein verminderter Zug auf dieselben einwirken. Die letztere Wirkung kann nun, wie Helmholtz nachgewiesen hat, durch einen Muskelzug an der Zonula Zinnii erreicht werden: im ruhenden Zustand wäre die Zonula gespannt und würde der Linse eine abgeplattete Form geben, erschlaffen kann diese elastische Membran durch die Thätigkeit des tensor chorioideae, indem derselbe das hintere Ende des Ciliarkörpers, mit welchem die Zonula zusammenhängt, nach vorn zieht und der Linse nähert; mit nachlassendem Zug müsste die bei ruhender Accomodation in die abgeplattete Form gezwungene Linse ihrer natürlichen convexen Form zustreben[1]). Aber wäre die Accomodationswirkung allein auf diese vermehrte oder verminderte Spannung der Zonula und also auf die Ränder der Linse beschränkt, so müsste, in dem Maasse als die vordere Linsenfläche convexer wird und nach vorn tritt, die hintere Linsenfläche concaver werden und zurücktreten. Um nun zu erklären, dass die hintere Linsenfläche nahezu ungeändert bleibt, nimmt Helmholtz die Wirkung der Iris zu Hülfe, die überdies durch die Cramer'schen Versuche als sicher constatirt zu betrachten ist. Indem der musc. tensor chorioideae bei seiner Thätigkeit die Spannung der Zonula Zinnii erschlafft, zieht er zugleich den Ansatzpunkt der Radialmuskelfasern der Iris, den Faserring der membrana Descemeti, nach hinten und giebt derselben auf diese Weise die Befestigung, die sie geeignet macht, auf die hinter ihr gelegene Flüssigkeit bei der Zusammenziehung ihrer Muskelfasern einen Druck auszuüben; dieser Druck pflanzt auf den Glaskörper und von da auf die Hinterfläche der Linse sich fort, um hier dem Druck, den die Linse selber beim Nachlass der Spannung, unter der sie sich befindet, in entgegengesetzter Richtung ausübt, das Gleichgewicht zu halten. — Diese von Helmholtz aufgestellte Hypo-

[1]) Es wäre möglich, dass neben der nachlassenden Spannung der Zonula bei der Accomodation für die Nähe noch ein direkter Druck auf den Rand der Linse ausgeübt würde durch die Contraktion einer Lage von Kreismuskelfasern, die H. Müller neuerdings entdeckt hat, und die dieser Forscher in der That als wesentlichen Accomodationsmuskel betrachtet, ohne übrigens die Mitwirkung der Zonulaspannung zu leugnen. (Arch. f. Ophth. Bd. III. Abth. I.)

these hat das Doppelte für sich, dass sie die ungleichmässige Formänderung der Linse auf das einfachste erklärt, und dass sie einigermaassen sich sogar durch die Untersuchung bestätigen lässt, indem man am todten Auge nachweisen kann, dass ein Zug an der Zonula die Form der Linse merklich zu verändern vermag.

Mögen aber auch immerhin dieser speciellen Annahme noch die sichern experimentellen Beweise mangeln, so geht doch so viel aus den bisherigen Untersuchungen hervor, dass der Mechanismus der Accomodation wahrscheinlich an ein Zusammenwirken verschiedener Muskelpartieen gebunden ist, dass aber alle Accomodationsmuskeln jedenfalls im Innern des Auges liegen und der Klasse der glatten Muskelfasern angehören. Ferner ist durch diese Untersuchungen erst der bestimmte Nachweis für die Thatsache geliefert, dass das normale Auge in seinem Ruhezustand auf unendliche Ferne eingerichtet ist, und dass der aktiven Wirkung der Accomodationsmuskeln die Formänderung der Linse beim Nahesehen entspricht[1]). Diese letztere Thatsache ist nun vollständig in Uebereinstimmung mit dem was unsere Versuche uns lehrten, denn wir fanden ja ganz entsprechend, dass das Accomodationsgefühl uns nur bei der Annäherung der Gegenstände, also bei der Einrichtung für grössere Nähe, ein Maas der relativen Entfernungen giebt. Hiernach müssen wir das Accomodationsgefühl geradezu als eine die Thätigkeit der Accomodationsmuskeln begleitende und von ihr abhängige Erscheinung betrachten; aber es frägt sich nun noch weiter: hat das Accomodationsgefühl in diesen Muskeln selbst seinen Sitz, ist es eine besondere denselben angehörige Aeusserung des Muskelsinnes, oder ist es nur äusserlich mit ihrer Thätigkeit verknüpft? Wir müssen hier diese Frage desshalb noch erwägen, weil das Vorhandensein eines

[1]) Neuerdings hat jedoch Th. Weber zuerst aus Beobachtungen mit dem Augenspiegel den Schluss gezogen, dass ein normalsichtiges Auge unter Umständen sich durch eine aktive Wirkung auch noch für convergente Strahlen einzurichten vermöge. (Arch. f. phys. Heilk. Bd. XIV. 1855. S. 479). Direkt in dieser Beziehung angestellte Versuche, in denen das Auge durch eine Convexlinse feine Linien betrachtete, die in verschiedene Entfernung vom Brennpunkt der Linse gebracht waren, bestätigten jene Schlussfolgerung, ergaben aber zugleich, dass jene negative Accomodation, wie sie von Weber im Vergleich zur gewöhnlichen positiven Accomodation genannt wurde, nicht bloss von einem äusserst beschränkten Umfange ist, sondern auch nur selten und nur durch eine besondere Anstrengung der Augen hervorgerufen wird. Da die negative Accomodation, deren Mechanismus übrigens von dem der gewöhnlichen Accomodation jedenfalls gänzlich verschieden ist, sonach bloss als ein Ausnahmezustand betrachtet werden muss, so bedarf sie für unsere Zwecke keiner nähern Erörterung.

Bewegungsgefühles in den Accomodationsmuskeln der gewöhnlichen Annahme widerspricht, nach welcher der Muskelsinn seinen Sitz nur in den quergestreiften, sogenannten animalen Muskeln haben soll.

Man könnte, von dieser Annahme ausgehend, geneigt sein, das Accomodationsgefühl den äussern Augenmuskeln zuzuschreiben, deren Bewegung gewöhnlich in inniger Verbindung mit den Accomodationsbewegungen steht, indem mit einem bestimmten Convergenzwinkel der Sehaxen meistens diejenige Anpassung des Auges verbunden ist, die der Entfernung des Convergenzpunktes entspricht. Hiergegen ist aber zu erinnern, dass erstens nach den Untersuchungen von Volkmann, Donders, Czermak u. A. jener Zusammenhang jedenfalls sehr häufig fehlt, und dass zweitens gerade in unsern Versuchen, in denen das eine Auge in immer gleicher Richtung durch eine Röhre sieht, während das andere geschlossen bleibt, der Einfluss der Convergenzbewegungen wie überhaupt aller Augenbewegungen ganz und gar ausgeschlossen ist. Endlich aber werden wir später (s. 4. Abhdlg.) den Nachweis liefern, dass die Divergenzbewegung der Augen von einem Muskelgefühl von annähernd gleich grosser Feinheit begleitet ist wie ihre Convergenzbewegung, wobei überdies beide weit empfindlichere Hülfsmittel für die Erkennung von Entfernungsänderungen abgeben als die Accomodation.

Die Thatsache, dass das Accomodationsgefühl nur frei wird bei der aktiven Wirkung des Accomodationsapparates, widerspricht ebenso jeder anderweitigen Ableitung desselben, an die man etwa noch denken könnte, und drängt mit Nothwendigkeit dazu hin, den Sitz desselben lediglich in den Accomodationsmuskeln selber zu suchen. Diese Muskeln geben uns somit ein Beispiel, dass der Muskelsinn durchaus nicht an die quergestreifte Faser gebunden ist, sondern dass auch die Zusammenziehung ungestreifter Muskeln von einem Bewegungsgefühl begleitet sein kann. Die Accomodationsmuskeln besitzen sogar, wie es scheint, ein sehr feines Muskelgefühl. Wenn man, unter Zugrundlegung von Listing's schematischem Auge, in den frühern Versuchen für jede Unterscheidungsgrenze der Annäherung die Differenz nimmt von den für die erste und zweite Entfernung berechneten Abständen der Netzhautfläche von dem dahinter fallenden Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen, so ergeben die so erhaltenen Zahlen unmittelbar diejenigen Grössen, um welche die Accomodationsmuskeln den hintern Brennpunkt des Auges verrücken müssen, damit die Accomodationsbewegung zum Bewusstsein komme. Man findet

auf diese Weise, dass in grösserer Ferne jene Differenz der Brennweiten nur einige Tausendtheile eines Millimeters beträgt. Aber sie bleibt nicht konstant, sondern nimmt, trotz der feiner werdenden Unterscheidungsgrenzen, in grösserer Nähe sehr beträchtlich zu, so dass sie in der Gegend des Nahpunktes auf Hunderttheile eines Millim. steigt. Hieraus scheint hervorzugehen, dass die Schärfe des Accomodationsgefühls mit wachsender Contraktion der Accomodationsmuskeln eine Verminderung erleidet. Diese Abnahme der Empfindungsschärfe mit der Zunahme der Zusammenziehung ist übrigens, wie wir an einem späteren Ort noch sehen werden, eine für den Muskelsinn allgemein gültige Thatsache. —

Die Hauptursache dafür, dass Viele das Accomodationsgefühl entweder leugneten oder aus sekundären Verhältnissen ableiteten, lag wohl darin, dass man wegen der anatomischen Beschaffenheit der Accomodationsmuskeln sich zu der Annahme hinneigte, die Bewegung derselben sei vom Willen gänzlich unabhängig; denn im Allgemeinen zeigt allerdings die Erfahrung, dass nur die Bewegungen willkürlicher Muskeln von Empfindungen begleitet sind. Cramer hat aber mit Recht schon darauf hingewiesen, dass es unzulässig erscheine, bloss nach der quergestreiften oder glatten Beschaffenheit über die Willkürlichkeit oder Unwillkürlichkeit eines Muskels zu entscheiden; es sei vielmehr die Annahme wahrscheinlich, dass das Vermögen sich willkürlich contrahiren zu können bei den glatten Muskelfasern allein von der Natur der in ihnen vertheilten Nerven abhänge. In der That lässt sich von vornherein nur erwarten, dass die Struktur des Muskels in Bezug auf die äussere Form seiner Zusammenziehung von entscheidendem Einflusse sein werde, es ist aber nicht einzusehen, in wiefern dieselbe irgend etwas über ihre Ursache aussagen sollte, wohl aber wird für die letztere die Beschaffenheit und der Ursprung der Nerven des Muskels von Wichtigkeit sein. Cramer hat nun in Betreff des Einflusses der Nerventhätigkeit auf die Accomodation eine Hypothese aufgestellt, die zunächst auf die Untersuchungen von Budge und Waller sich gründet, nach denen die Verengerung der Pupille durch den gemeinschaftlichen Einfluss des nerv. oculomotorius und trigeminus, ihre Erweiterung durch den alleinigen Einfluss des nerv. sympathicus erfolgt. Darnach nimmt Cramer an, die Accomodation für die Nähe werde hervorgerufen durch den Reiz des Willens auf den nerv. trigeminus, pflanze sich von ihm aus auf das ganglion ciliare und in diesem auf die motorischen Fasern des Sympathicus fort, Trigeminus und

Sympathicus seien daher die eigentlichen Accomodationsnerven, zu deren Thätigkeit sich unter Umständen die des Oculomotorius geselle, der die der Lichtstärke sich anpassende Verengerung der Pupille bewirken soll. Dass der Oculomotorius nicht, wie man a priori ebenso gut vermuthen könnte, der eigentliche Accomodationsnerv ist, geht daraus hervor, dass auch bei vollständiger Lähmung des Oculomotorius das Accomodationsvermögen noch bis zu einem gewissen Grad fortbesteht. Diese Hypothese über die Nervenwirkungen bei der Accomodation lässt sich auch jetzt noch mit den Annahmen über den Accomodationsmechanismus vereinbaren, wo man nicht mehr wie Cramer lediglich in der Wirkung der Iris ihn suchen kann.

Wenn sonach schon die Natur der in das ganglion ciliare eintretenden Nerven es nicht unwahrscheinlich macht, dass die Accomodation unter dem Einfluss des Willens stehe, so wird dies zudem noch durch die direkte Beobachtung über allen Zweifel erhoben; und dass überhaupt jemals ein Zweifel an dieser Thatsache aufkommen konnte, liegt nur darin begründet, dass man sich gewöhnt hat, an alle Muskelwirkungen das Maass der Skelettmuskeln zu legen, da diese der Beobachtung zunächst zugänglich sind. Die Skelettmuskeln nennen wir nun willkürlich beweglich, weil wir willkürlich vorausbestimmte Ortsbewegungen mit ihnen vollführen können. In diesem Sinne sind freilich die Accomodationsmuskeln und alle Muskeln, deren Wirkung nicht unmittelbar von uns gesehen werden kann, nicht willkürlich zu nennen. Derjenige, der keine physiologischen Kenntnisse hat, weiss überhaupt nichts davon, dass die Accomodation auf einer Muskelcontraktion oder nur auf einer Bewegung beruht. Der bewusste Zweck unseres Handelns ist immer ein bestimmtes endliches Ziel; und dieses kann allein der Gegenstand unseres Willens sein, weil wir von den physiologischen Zwischenstufen, die sich zwischen dem Antrieb des Willens und dem Vollzug des Zweckes befinden mögen, an und für sich gar nichts wissen. Dort ist nun das Ziel die Ortsveränderung unserer Gliedmaasen, hier ist es die Verdeutlichung eines gesehenen Gegenstandes. Die Beobachtung zeigt uns, dass die letztere ebenso in der Macht unsers Willens steht wie die erstere, wir müssen daher die Accomodation mit eben dem Recht einen willkürlichen Akt nennen, mit dem wir die Ortsbewegung als solchen bezeichnen.

Wenn wir jedoch aus der Thatsache, dass wir willkürlich jeden Augenblick unser Auge für fernere oder nähere Gegenstände anpassen können, schliessen dürfen, dass die Accomodation ein der Willkür unterworfener Vorgang ist, so soll

damit nicht gesagt sein, dass dieselbe **nur** willkürlich und nicht unter Umständen auch ohne den Einfluss des Willens zu Stande komme. Wir werden uns im Gegentheil überzeugen, dass die unbewusste und unwillkürliche Accomodation mindestens ebenso häufig, und dass sie es namentlich ist, welche der willkürlichen Anpassung in der Entwicklung des Sinnes vorhergeht und dieselbe erst möglich macht. Aber schon hier müssen wir hervorheben, obgleich die nähere Erörterung dieses Gegenstandes einer spätern Abhandlung zugehört, dass der Accomodationsapparat in dieser Hinsicht von allen übrigen der Willkür unterworfenen Theilen und namentlich von den Muskeln der willkürlichen Bewegung sich nicht unterscheidet: jeder willkürliche Muskel ist immer bisweilen und war in einer gewissen Periode des Lebens **nur** unwillkürlich beweglich.

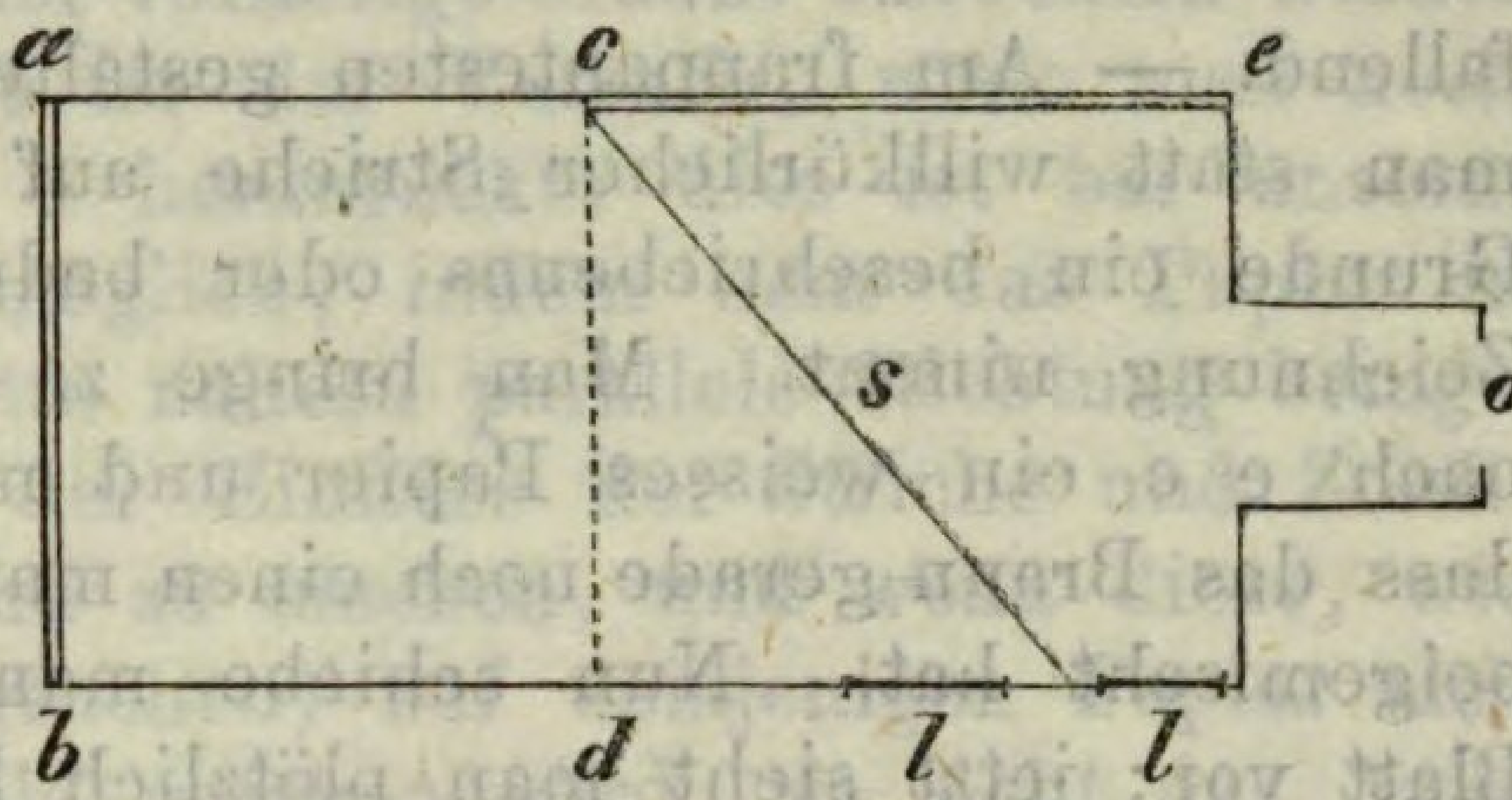
Der Accomodationsmechanismus ist, so lange sich nicht die Willkür ihm zuwendet, einem **physiologischen Zwang** unterworfen, dem er unabänderlich folgen muss. Wenn wir in einem hellen Raume plötzlich die zuvor geschlossenen Augen öffnen, so accomodiren diese sich unwillkürlich zuerst demjenigen Gegenstande, der vermöge seiner Lichtstärke und seiner Entfernung der deutlichsten Wahrnehmung fähig ist; wenn man in unserer früheren Versuchsanordnung schwarze Fäden von gleicher Dicke vor dem weissen Hintergrund in verschiedenen Entfernungen aufhängt, so accomodirt das Auge im ersten Moment immer und unwillkürlich zuerst auf denjenigen Faden, der sich zunächst der Weite des deutlichsten Sehens befindet, und dann successiv auf die übrigen in der Reihenfolge, die durch den Grad ihrer deutlichen Wahrnehmbarkeit bestimmt wird, aber erst wenn wir einem Objekt einmal unwillkürlich unser Auge angepasst haben, können wir dies mit Willkür jeden Augenblick wiederholen.

Das blosse Vorhandensein von Gegenständen in bestimmter Entfernung und Beleuchtung genügt jedoch noch nicht, um unsere Accomodation auf dieselben zu lenken, sondern diese bedarf besonderer Merkmale an den Gegenständen, nach welchen sie sich richtet und durch die sie erst möglich wird. Dies ergiebt sich aus Versuchen, in denen man auf eine und dieselbe Netzhaut Eindrücke, die aus verschiedenen Entfernungen kommen, einwirken lässt. Ich bediente mich zu diesen Versuchen folgender Vorrichtung, die auf demselben Princip beruht, das dem **Helmholtz**'schen Augenspiegel zu Grunde liegt.

Dieselbe besteht aus einem parallelepipedischen Kasten, Fig. 2, der innen geschwärzt ist und sich vorn zu einer Sehröhre für das Auge bei o verjüngt. Im vordern Theil des

Kastens ist eine ebene Glasplatte s befestigt, die unter 45° zu den Seitenwänden geneigt ist und auf der obern und untern Wand senkrecht steht.

Fig. 2.



Die Hinterwand a b des Kastens ist beweglich und kann vorwärts und rückwärts geschoben oder herausgenommen werden, um gefärbte Papiere od. Zeichnungen auf ihr zu befestigen. Am vorderen Ende befindet sich auf der einen Seite, bei e, ein kleiner Spalt, in den gleichfalls Papiere eingeschoben werden können, auf der andern Seite sind kleine Läden l, l angebracht, die mehr oder weniger geöffnet werden können, um den innern Raum des Kastens in seinen einzelnen Theilen nach Bedürfniss verschieden stark zu beleuchten. Die gefärbte Fläche bei a b sendet nun durch die Glasplatte s direkt ihr Licht in das Auge o, die von der gefärbten Fläche bei c e ausgehenden Strahlen werden dagegen zum Theil von der Glasplatte reflektirt und senden in das Auge ein Bild, das von einem Gegenstand herzurühren scheint, der sich bei c d hinter der Glasplatte befindet. Das Auge erhält also auf diese Weise auf denselben Punkten seiner Netzhaut Lichtstrahlen von Gegenständen, die um die Grösse a c von einander entfernt sind. Indem man nun a b näher an die Glasplatte heranschiebt, kann man diese Distanz vermindern, bis endlich a b und c d zusammenfallen, wo dann die direkt gesehene Fläche und das reflektirte Bild sich in gleicher Entfernung vom Auge befinden. Man hat bei diesen Versuchen die Beleuchtung des innern Kastens so einzurichten, dass die reflektirten und die direkten Strahlen von möglichst gleicher Lichtstärke sind, die Wand c e muss daher immer bedeutend heller erleuchtet werden als a b; durch die Läden l, l lässt diese Abstufung sich leicht bewerkstelligen.

Bringt man nach a b irgend ein farbiges Papier und nach e c ein anders gefärbtes oder ein weisses, so nimmt bei passend gewählter Beleuchtung das Auge bei o eine Mischfarbe wahr. Befindet sich z. B. bei a b Blau, bei e c Weiss, so sieht man gleichmässig gemischtes weissliches Blau. Schiebt man nun aber über das weisse Papier ein anderes demselben völlig gleiches, das sich nur darin unterscheidet, dass auf ihm ein oder mehrere schwarze Striche angebracht sind, so hat sich die Mischfarbe im Vergleich zu vorhin geändert, sie ist merklich

heller geworden. Das Umgekehrte ist der Fall, die Mischfarbe spielt mehr in's Bläuliche, wenn man das blaue Papier durch ein anderes von gleicher Farbe ersetzt, das schwarze Striche enthält; doch ist hier die Erscheinung weniger auffallend. — Am frappantesten gestaltet sich der Versuch, wenn man statt willkürlicher Striche auf gefärbtem oder weissem Grunde ein beschriebenes oder bedrucktes Papier oder eine Zeichnung nimmt. Man bringe z. B. nach a b ein braunes, nach e c ein weisses Papier und mache die Beleuchtung so, dass das Braun gerade noch einen matten weisslichen Schimmer beigemischt hat. Nun schiebe man bei e c ein bedrucktes Blatt vor; jetzt sieht man plötzlich keine Spur einer braunen Färbung mehr, das bedruckte Blatt verdeckt so vollständig das braune Papier, dass der Unkundige glaubt, es sei wirklich vor dasselbe gestellt worden. — Es lassen sich diese Versuche natürlich noch sehr variiren, doch halten wir es für unnöthig, hier darauf näher einzugehen, da das Beigebrachte für unsern gegenwärtigen Zweck schon genügend ist. Im Allgemeinen ist es räthlich, für das direkt gesehene Papier eine der matteren Farben, für das im reflektirten Bild gesehene eine der grelleren Farben oder Weiss zu wählen, und dann die Beleuchtung so abzustufen, dass von der reflektirten Farbe, wenn sie keine Striche oder Zeichnungen enthält, gerade nur noch eine merkliche Spur oder auch gar nichts mehr wahrgenommen wird. Das Resultat des Versuchs ist dann stets so sicher, dass an der Richtigkeit der Thatsache kein Zweifel bleibt; nur ist die Erscheinung je nach den gewählten Farben mehr oder weniger augenfällig. Vergleicht man die verschiedenen Farben in der Combination mit reinem Weiss und einer Zeichnung auf weissem Grunde, so ist das Ergebniss des Versuchs bei Grau und Braun am auffallendsten, hierauf folgt Blau, Roth, dann Grün, und zuletzt Gelb; bei dieser Vergleichung sind übrigens nur die dunkleren Tinten der genannten Farben berücksichtigt.

Die beschriebene Erscheinung ist um so deutlicher, je grösser die Entfernung a c ist. Nähert man das Papier a b dem in c d erscheinenden Bilde, so nimmt der Einfluss der Striche oder Zeichnungen im reflektirten Bilde allmälig ab, und er hört ganz auf, sobald das Papier a b in c d selbst liegt. Sobald die Strahlen beider gefärbter Flächen von einem und demselben Orte auszugehen scheinen, so ist die Mischfarbe immer die gleiche, ob die eine Fläche noch Linien und Zeichnungen enthält oder nicht. Wenn man in dem obigen Versuch, nachdem durch das eingeschobene bedruckte Blatt

das direkt gesehene braune Papier gänzlich zum Verschwinden gebracht ist, allmälig mit dem letztern näher heranrückt, so erscheint wieder eine bräunliche Färbung, und sobald das Papier sich in c d befindet, ist der vorherige braune Farbenton wieder vorhanden. — Interessant ist der Versuch, wenn man noch näher an die Glasplatte s heranrückt; dies ist bei unserm Apparat nur theilweise möglich, indem man das Papier in eine schräge, der Glasplatte nahezu parallele Richtung bringt. Dann nämlich fängt an der Einfluss der Striche und Zeichnungen sich wieder geltend zu machen, und wenn diese, wie gewöhnlich in unsern Versuchen, auf demjenigen Papier sich befinden, dessen Spiegelbild gesehen wird, so sieht das Auge durch das andere unmittelbar hinter der Glasplatte befindliche Papier, unter Umständen von demselben gar nichts wahrnehmend, hindurch nach dem in c d befindlichen Bilde. Wenn man die Beleuchtung passend wählt und bald dem einen bald dem andern Papier ein gezeichnetes Blatt von gleicher Farbe substituirt, so kann man veranlassen, dass das Auge bald nur die eine bald nur die andere Farbe sieht.

Die auffallendste Thatsache dieser Versuche, auf die wir hier nur hindeuten können, ist die, dass es unter Umständen den Anschein haben kann, als ob verschiedene Eindrücke, die sich auf der Netzhaut vermischen, noch getrennt in der Empfindung fortbeständen, und als ob es nur eines besondern Anstosses bedürfe, um die Mischempfindung wieder in ihre Componenten aufzulösen. Diese Erscheinung beruht jedoch, wie sich durch verschiedene Versuchsmodifikationen nachweisen lässt, nur auf einer Contrastwirkung. Haben wir z. B. einerseits ein einfarbig blaues, anderseits ein weisses Papier mit einer Zeichnung, so haben die dunkeln Linien der letztern ein sehr lichtschwaches Blau, das daher meistens ganz schwarz erscheint, gegen dieses dunkle Blau contrastirt nun das sehr mit Weiss gemischte Blau des Grundes so sehr, dass es weiss erscheint, und dass man daher unter Umständen das blaue Papier ganz verdeckt glaubt. Das zweite Ergebniss dieser Versuche, wegen dessen wir sie hier angeführt haben, zeigt uns, dass bei der Accomodation und dadurch mittelbar bei unserer ganzen Gesichtswahrnehmung gewisse dominirende Linien und Punkte eine hervorragende Rolle spielen, ja dass sie es sind, die eine unterscheidende Wahrnehmung der äussern Gegenstände überhaupt erst ermöglichen, indem sie die Anpassung unseres Accomodationsapparates für dieselben bestimmen und lenken.

Denken wir uns ein gleichförmig erleuchtetes und gleich-

förmig gefärbtes Sehfeld, so würde das Auge die Farbe wohl als einen Zustand seiner Netzhaut empfinden, wir würden sie aber ebenso wenig wie die völlige Finsterniss der Nacht auf einen Gegenstand, von dem sie ausgeht, beziehen, die Empfindung selber würde ganz unabhängig sein von der grössern oder geringern Lichtbrechung in unserm Auge, unser Accomodationsapparat wäre durch nichts zu einer Thätigkeit angeregt und daher stets auf unendliche Ferne eingerichtet, selbst wenn die gefärbte Fläche, welche die Empfindung veranlasst, sich in sehr grosser Nähe befände. In Wirklichkeit lässt diese Thatsache nicht direkt durch den Versuch sich constatiren, weil die gefärbten Flächen, die wir uns verschaffen können, immer geringe Ungleichmässigkeiten enthalten, die wir bei sehr nahem Betrachten bemerken, und die dann dominirende Linien und Punkte für unsere Wahrnehmung abgeben; aber indirekt wird jene Thatsache durch eine umgekehrte Beobachtung bestätigt, die wir gelegentlich schon erwähnt haben: sieht man nämlich mit einem Auge, während das andere geschlossen ist, nach einer gleichmässig gefärbten oder weissen Wand, die sich in sehr grosser Ferne befindet, so hat man durchaus kein Urtheil über die Entfernung des Gegenstandes, da aber der Rand der Röhre leicht eine dominirende Linie abgiebt, so ist man am ehesten geneigt zu vermuthen, die farbige Fläche liege dicht vor der Oeffnung.

Sobald nun in dem gleichförmigen Sehfelde ein begrenzter Punkt erscheint, der entweder durch eine andere Färbung oder durch eine mehr oder weniger intensive Beleuchtung sich abhebt, so hat dies für das Auge einen doppelten Erfolg: erstens wendet es dem Punkt im Sehfelde den Punkt seines deutlichsten Sehens zu, und zweitens accomodirt es, bis der Punkt in scharfer Begrenzung erscheint. Beide Bewegungen geschehen durchaus unwillkürlich, so unwillkürlich wie jede Reflexbewegung. Aehnlich verhält es sich, wenn eine Linie oder eine ganze Summe von Linien, eine Zeichnung im Gesichtsfeld sich darbietet; die Augenbewegungen werden zwar hier verwickelter, aber die Accomodationsbewegung ist ebenso einfach. Sind endlich die gesehenen Gegenstände körperlich ausgedehnt, so folgen die Accomodationsbewegungen dem früher erörterten Gesetze, ehe sie der Willkür anheimfallen. — In allen Fällen sind es somit die d o m i n i r e n d e n L i n i e n und P u n k t e im Sehfeld, welche den Accomodationsmechanismus beherrschen; und diese dominirenden Linien und Punkte werden durch die Contouren und Farbengrenzen der äussern Gegenstände gebildet. Der Accomodationsmechanismus ist in dieser

Hinsicht einem Zwang unterworfen, von dem er nur unter gewissen Umständen sich zu befreien vermag. Jeder Punkt, jede Linie im Sehfeld ruft ein unwillkürliches Bestreben hervor, deutlich gesehen zu werden; Netzhaut und Accomodationsapparat sind aber offenbar durch einen physiologischen Mechanismus so mit einander verknüpft, dass Anregungen bestimmter Art, die von der Netzhaut ausgehen, eine Zusammenziehung der Accomodationsmuskeln auslösen, ähnlich wie bestimmte Eindrücke auf empfindende Theile bestimmte Reflexbewegungen zur Folge haben.

Wenn wir sonach die Accomodation als einen Reflexvorgang betrachten können, so gilt dies jedoch in strengem Sinne nur von der unwillkürlichen Anpassung; diese geht aber, wie schon bemerkt, dem willkürlichen Anpassungsvermögen ganz ebenso voraus und ermöglicht dasselbe, wie überhaupt die Reflexbewegungen die Grundlage der willkürlichen Bewegung sind. Auffallend ist hierbei nun der Umstand, dass beim ausgebildeten Gesichtsvermögen, wie es scheint, nicht jeder Reiz auf die Netzhaut die Accomodation anregt, sondern dass nur undeutlich gesehene Punkte und Linien eine derartige Anregung ausüben. Dieses Verhalten könnte man einfach durch die Annahme erklären wollen, zwischen Zerstreuungskreis und Accomodation bestehe ein angeborener Zusammenhang, vermöge dessen der erstere die letztere zu seiner Vernichtung anrege, die Netzhaut habe also gewissermaassen eine angeborene Scheu vor Zerstreuungskreisen, und der Accomodationsapparat sei ihr beigegeben, um sich gegen dieselben zu schützen. Diese Annahme hat jedoch, abgesehen davon dass sie gar nicht erklärt, warum der Zerstreuungskreis einen so besonderen Reiz für die Accomodationsmuskeln abgiebt, hauptsächlich gegen sich, dass jener Zusammenhang der Accomodation, den sie für einen angeborenen hält, nicht einmal mit einer besonderen Qualität der Empfindung sondern lediglich mit einer Eigenthümlichkeit der Wahrnehmung stattfindet; Alles aber was in das Gebiet der Wahrnehmung fällt beruht ja auf dem Ablauf bestimmter logischer Processe, die durch äussere Anregungen erst geweckt werden müssen, also erst während des Lebens entstehen können. Dies weist uns darauf hin, dass der Zusammenhang zwischen der Accomodation und den dominirenden Linien und Punkten im Sehfeld ein erworbener ist, und dass er aus einem andern ursprünglicheren Zusammenhang, der zwischen der Accomodation und der reinen Empfindung besteht, sich erst hervorbildet. Dies geschieht nun offenbar auf dieselbe Weise, wie die ursprünglich regellosen Reflexbewegungen allmälig zu

Bewegungen von genau bestimmtem Umfange werden, und daher schliesslich den Charakter der Zweckmässigkeit an sich tragen. Wenn auch jede Gesichtsempfindung anfänglich auf reflektorischem Wege eine Zusammenziehung der Accomodationsmuskeln veranlasst, so werden doch sehr bald von der Summe aller Gesichtsempfindungen diejenigen sich aussondern, die durch jene Thätigkeit der Accomodationsmuskeln eine Veränderung erfahren, dies sind aber die dominirenden Linien und Punkte im Sehfeld, deren Zerstreuungskreise bei wechselnder Anpassung bald grösser oder kleiner werden, bald ganz verschwinden. In kurzer Zeit gewinnt so die zuvor regellose Accomodationsbewegung an den dominirenden Linien und Punkten einen Halt, durch sie lernt der sich entwickelnde Mensch deutliche und undeutliche Gesichtswahrnehmungen unterscheiden, und ihre Zerstreuungskreise werden schliesslich nicht nur zu einem besondern Netzhautreiz für die Accomodationsbewegungen sondern auch zu einem Maass für den Umfang derselben.

Wir ersehen aus diesen Betrachtungen, dass ursprünglich die Accomodation ein durchaus unwillkürlicher und unbewusster Akt ist. Damit sie jemals zu einem Akt der Willkür werden könne, dazu ist zuerst erforderlich, dass sie zum Bewusstsein gelange, und dies geschieht durch das Accomodationsgefühl; sobald durch das letztere der Anpassungsvorgang ein bewusster geworden ist, ist auch die Möglichkeit gegeben, dass sich in jedem Augenblick die Willkür ihm zuwende. Beim ausgebildeten Menschen ist daher die Accomodation nur in folgenden drei Fällen noch eine unwillkürliche: erstens, wenn im ganzen Sehfeld nur eine einzige Fläche sich befindet, die durch dominirende Linien und Punkte einer bestimmten Anpassung und in Folge dessen einer deutlichen Wahrnehmung fähig ist, hier ist, wie wir gesehen haben, die Accomodation einem Zwang unterworfen, von dem sie selbst mit aller Anstrengung des Willens schwer sich befreien kann; zweitens, wenn das Auge plötzlich vor ein noch unbekanntes mit in verschiedenen Entfernungen befindlichen Gegenständen erfülltes Sehfeld tritt, in den ersten Momenten der Wahrnehmung, hier erfolgt die Anpassnng, bevor sie der durch die Aufmerksamkeit gelenkten Willkür anheimfällt, in der bestimmten Reihenfolge der deutlichen Wahrnehmbarkeit, so zwar, dass der Wille jeden Augenblick die Accomodation zu fixiren und also die Reihe, bevor sie ganz abgelaufen ist, zu schliessen, nicht aber einzelne Glieder der Reihe zu überspringen vermag; den dritten Fall unwillkürlicher Accomodation haben wir endlich

dann, wenn überhaupt die Aufmerksamkeit gänzlich von den Objekten des äussern Sinnes abgelenkt ist, hier zeigt uns eine plötzlich auf die Accomodation sich richtende Selbstbeobachtung, dass unser Accomodationsapparat hierbei keineswegs etwa in Ruhe, also auf unendliche Ferne gerichtet, sondern dass er meistens bestimmten Gegenständen im Sehfeld, die zugleich auf der Stelle des deutlichsten Sehens sich abbilden, angepasst ist, und höchst wahrscheinlich erfolgt dann gleichfalls die Anpassung nach dem Gesetz des Ueberwiegens der am deutlichsten wahrnehmbaren Objekte. Die letztere Behauptung scheint vielleicht dem zu widersprechen was täglich die objektive Beobachtung uns lehrt: der Blick des in seine Gedanken versunkenen Menschen ist meistens, ohne an einem bestimmten Gegenstande zu haften, in unendliche Ferne gerichtet; aber dieser Widerspruch ist nur ein scheinbarer, denn der Denkende hat absichtlich sein Auge von den Gegenständen seiner unmittelbaren Umgebung hinweggewandt, damit ihre unwillkürliche Wahrnehmung nicht seine Aufmerksamkeit fessle, auf Dinge aber, die überhaupt nicht in seinem Sehfelde sich befinden, kann er auch nicht accomodirt sein, und in die Ferne wendet er seinen Blick, weil die Eindrücke aus weiterer Ferne ihrer geringeren Intensität und grösseren Gleichförmigkeit wegen seine Aufmerksamkeit weniger in Gefahr bringen. Uebrigens giebt es noch eine besondere Form des nachdenkenden Blickes, der grübelnde Blick, welcher die Eigenthümlichkeit hat, dass er Gegenstände aus sehr grosser Nähe in's Auge fasst, und bei diesem ist das Auge auch immer auf den Convergenzpunkt der Sehaxen accomodirt, selbst wenn der fixirte Gegenstand mit Bewusstsein gar nicht gesehen wird. Nur in seltenen Fällen völliger Geistesabwesenheit scheint es auch vorzukommen, dass das Auge in die Nähe blickt, ohne für die Nähe sich anzupassen, so dass bei plötzlich erwachender Aufmerksamkeit Alles mit Zerstreuungskreisen erscheint, in diesem Falle wäre also der physiologische Mechanismus, der zwischen der Accomodation und den dominirenden Linien im Sehfelde besteht, vollständig gelöst, und zwar ohne dass der Wille sich einmischt. Diese momentane und unwillkürliche Lösung eines sonst constanten Zusammenhanges findet in andern Erscheinungen ihre Analoga, namentlich pflegt sie Theilerscheinung einer allgemeinen Muskelruhe, d. h. eines plötzlichen Stehenbleibens sämmtlicher Körpermuskeln in den im Moment gerade vorhandenen Contraktionsgraden, zu sein.

Ausser diesem unwillkürlichen zeitweisen Schwinden des Zusammenhangs zwischen der Accomodation und den domini-

renden Linien im Sehfelde, giebt es aber noch eine willkürliche Lösung desselben. Wir haben bereits gesehen, dass schon beim gewöhnlichen willkürlichen Fixiren eines einzelnen Punktes von bestimmter Entfernung etwas derartiges stattfindet, indem die Accomodation hierbei von allen übrigen noch in andern Entfernungen vorhandenen Punkten abstrahirt; aber dieses Abstrahiren wird ihr hier sehr erleichtert, ja es wird ohne besondern Hinzutritt des Willens nothwendig, da der fixirte Punkt zugleich auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt und daher bei weitem am schärfsten wahrgenommen werden kann. Anders ist es schon, wenn man nicht auf den fixirten, sondern auf einen andern indirekt gesehenen Punkt die Aufmerksamkeit richtet und auf ihn zu accomodiren sucht; hier gelingt dies bekanntlich viel schwieriger, und in einem unbewachten Moment fällt die Accomodation leicht in den Zustand zurück, welcher der Entfernung des fixirten Punktes entspricht, obgleich hier der erwähnte Zusammenhang zwischen der Accomodation und den Punkten und Linien im Sehfeld keineswegs aufgehört hat, sondern die erstere immer noch an dem indirekt gesehenen Punkt einen Halt besitzt und ihr vom Willen nur zugemuthet wird, von zwei Anregungen der schwächeren Folge zu leisten. Vollständig ist die Lösung jenes Zusammenhangs nur da, wo das Auge mit Absicht einer Entfernung angepasst ist, in der gar kein dominirender Punkt sich befindet. Betrachten wir jedoch diesen Fall etwas näher, so zeigt es sich, dass eine derartige gegenstandslose Accomodation nur dann möglich wird, wenn man sich in der gewählten Entfernung einen Punkt denkt, den man fixirt und auf den man das Auge einrichtet. Diese Accomodation ist übrigens eine durchaus ungewöhnliche und findet, wie auch die Accomodation auf einen indirekt gesehenen Punkt, wohl kaum je anders als in physiologischen Versuchen eine Anwendung; aber auch hier ist, wie man sieht, das Auge nicht ganz ohne Halt, ja streng genommen ist dieser Fall nicht verschieden von dem ganz gewöhnlichen, wo man auf einen willkürlich fixirten Punkt accomodirt, nur ist dieser Punkt hier nicht ein wirklicher sondern bloss ein gedachter.

3. Ueber die Bewegungen des Auges.

Wir haben uns überzeugt, dass die Accomodation nur in sehr beschränktem Umfange die Bestimmung räumlicher Distanzen vermitteln kann, und dass sie auch da wo sie eine Anwendung findet, nämlich innerhalb der Accomodationsgrenzen, immer nur zu relativen Entfernungsschätzungen führt.

Es frägt sich nun: besitzen wir beim Sehen mit einem Auge noch ein anderes Hülfsmittel für die räumliche Wahrnehmung? Ein solches Hülfsmittel, das an Wichtigkeit das Accomodationsgefühl noch weit übertrifft, ist in der That vorhanden in den Bewegungen des Augapfels und den mit ihnen verbundenen Muskelempfindungen. An Wichtigkeit ist dieses Hülfsmittel nicht bloss desshalb der Accomodation überlegen, weil es in den Entfernungsschätzungen nach der Tiefe des Raumes eine ausgedehntere Anwendung findet, sondern namentlich desshalb, weil auf ihm zugleich die räumliche Flächenwahrnehmung beruht. Bevor wir dem letzteren Gegenstande uns zuwenden können, müssen wir die Augenbewegungen selber etwas näher in's Auge fassen.

Wir können innerhalb des beschränkten Bewegungsumfanges des Auges der Sehaxe jede beliebige Richtung geben, aber der Weg, auf dem sie in diese Richtung gelangt, und die Stellung, in die gleichzeitig alle übrigen Punkte des Auges gebracht werden, ist uns an und für sich ebenso wenig bekannt wie die Wirkungsweisen der einzelnen Augenmuskeln, aus denen jene Lageveränderungen hervorgehen, und erst speciell darauf gerichtete Untersuchungen vermögen hierüber Aufschluss zu geben. Donders und Ruete gebührt das Verdienst, eine exaktere Untersuchung der Augenbewegungen zuerst auf experimentellem Wege angebahnt zu haben, indem sie eine vortreffliche Methode zur Ermittlung der Augenstellungen kennen lehrten. Sie benützten für diesen Zweck das Nachbild eines vertikal stehenden linearen Gegenstandes und bestimmten die Neigungen, welche dasselbe bei verschiedenen Richtungen der Sehaxe im Vergleich zu einer bestimmten Ausgangsstellung zeigte.

Obgleich diese Untersuchungen, die ausserdem noch durch Meissner und Fick zum Theil nach abweichenden Methoden angestellt wurden, nicht immer zu übereinstimmenden Ergebnissen und namentlich noch nicht zu einem bestimmten Gesetze der Augenstellungen führten, so scheint doch im Allgemeinen aus denselben hervorzugehen, dass einer jeden Richtung der Sehaxe eine ganz bestimmte und unveränderliche Drehung um dieselbe entspricht; in eigenen Beobachtungen habe ich mich überdies davon überzeugt, dass diese Drehung die gleiche ist, auf welchem Weg man auch die Sehaxe in jene Richtung führen mag.

In diesen Untersuchungen ist nur der Anfang gemacht zur Ermittlung eines Gesetzes der Augenstellungen, ohne dass man bis jetzt weiter als zur Aufstellung von empirischen Resultaten oder Interpolationsformeln gekommen wäre. Aber gesetzt

auch, man hätte für jede einzelne Stellung der Sehaxe die bestimmte Lage, welche in derselben allen übrigen Punkten des Augapfels zukäme, ermittelt, so wäre damit über die wirklichen Bewegungen des Auges ganz und gar noch nichts ausgesagt, sondern es liessen sich immer noch alle möglichen Wege denken, auf welchen die Sehaxe aus einer ersten in eine beliebige zweite Lage übergeführt werden könnte, und es bliebe durchaus unbestimmt, welcher dieser unendlich vielen Wege derjenige ist, den die Sehaxe bei continuirlichem Uebergang von einem Fixationspunkt zum andern in Wirklichkeit einschlägt. Obgleich demnach genauere experimentelle Untersuchungen über die Augenbewegungen selber bis jetzt nicht vorliegen, so hat doch die Theorie bereits einige Versuche gemacht der Erfahrung vorauszugreifen, und diese Versuche sind, wenn auch verfrüht, immerhin schon desshalb bemerkenswerth, weil sie auf dem Weg der Ausschliessung vielleicht zum Richtigen hinlenkten, indem man gewisse hypothetische Voraussetzungen machte und die aus ihnen abgeleiteten Resultate theils nach ihrer allgemeinen Wahrscheinlichkeit prüfte theils mit den durch die Untersuchung der Augenstellungen erhaltenen Ergebnissen verglich.

Meissner[1]) ging von der geometrisch einfachsten Annahme aus, dass die Drehungsaxe des Auges während einer continuirlichen Bewegung constant bleibe, und er glaubte diese Annahme dadurch begründet, dass eine veränderliche Drehungsaxe den Augenmuskeln einen allzu complicirten Mechanismus zumuthen würde. Die Richtigkeit dieser Annahme vorausgesetzt liesse sich nun in der That fast ganz a priori ein Gesetz der Augenbewegungen ableiten. Nimmt man nämlich (was in Meissner's später zu erwähnenden Versuchen über den Horopter seine Begründung findet) diejenige Stellung des Auges als Primärstellung an, bei welcher das Auge 45^0 unter den Horizont geneigt und gerade aus (senkrecht zu der die vereinigten Knotenpunkte beider Augen verbindenden Geraden) gerichtet ist, so kann das Auge aus dieser Anfangsstellung erstens um zwei auf der optischen Axe senkrecht stehende Drehungsaxen und zweitens um unendlich viele Drehungsaxen, die zu jener eine verschiedene Neigung haben, möglicherweise bewegt werden. Die Stellungen, in welche das Auge durch die ersteren Bewegungen gelangt, und welche das Ausgezeichnete haben, dass sie mit keiner Drehung um die optische Axe verbunden sind, werden als Sekundärstellungen, alle

[1]) Archiv f. Ophthalmologie, Bd. II, 1.

übrigen von einer auf die optische Axe projicirten Drehung begleiteten als Tertiärstellungen bezeichnet. Die Zahl der unendlich vielen Drehungsaxen, um die das Auge möglicher Weise in die Tertiärstellungen gelangen könnte, wird nun aber durch die Voraussetzung beschränkt, dass die Drehung um eine feste Axe geschehen soll, und durch die Thatsache der Constanz der Lage des Auges bei bestimmter Richtung der Sehaxe. Aus der letzteren folgt, dass die Sehaxe nur auf einem einzigen Wege aus einer bestimmten Anfangsstellung in eine zweite Stellung übergeführt werden kann, continuirliche Drehung vorausgesetzt, und dass daher alle Drehungsaxen in einer und derselben Ebene liegen; diese Ebene ist aber offenbar durch die bekannten Drehungsaxen für die Sekundärstellungen als eine im Drehpunkt auf der Primärstellung senkrechte schon gegeben, und durch die Annahme einer festen Drehungsaxe ist diese nun selber bestimmt als eine auf der ersten und zweiten Richtung der Sehaxe senkrechte Linie. — Wenn das Auge nicht aus der Primärstellung sondern aus irgend einer zweiten Lage in eine andere gedreht wird, so macht dies principiell keinen Unterschied, sondern auch hier ist eine Ebene der geometrische Ort aller Drehungsaxen, und jede Drehungsaxe steht senkrecht auf der ersten und zweiten Richtung der Sehaxe.

Meissner's Schlüsse sind im Ganzen folgerichtig, sobald man die eine Annahme zulässt, dass die Drehungsaxe eine feste sei. Diese Annahme scheint aber weder experimentell sich zu bestätigen (Meissner's eigene Versuche zeigen sehr erhebliche Abweichungen von den theoretisch berechneten Resultaten), noch scheinen die a priori für sie angeführten Gründe genügend zu sein. Fick[1]) hat in letzterer Hinsicht die richtige Bemerkung gemacht, dass was geometrisch das Einfachste sei dies nicht auch gerade in physiologischer Beziehung sein müsse, und dass den die Augenmuskeln beherrschenden Nervencentren vielleicht die allerschwierigste Variation der Reize aufgebürdet würde, wenn die Drehungsaxe während einer ganzen endlichen Bewegung dieselbe bleiben sollte[2]). — Fick selber hat desshalb einen andern Weg betreten, indem er von dem physiologisch einfachsten Princip ausging,

[1]) Moleschott's Untersuchungen. Bd. V. S. 194 f.

[2]) Was die Drehungsweisen bei beweglicher Drehaxe betrifft, so hat Meissner von den unendlich vielen, die hier möglich wären, ebenfalls bereits zwei untersucht, die sich durch gewisse constant bleibende Coordinatenverhältnisse auszeichnen, die aber im Auge, wie die Ergebnisse der Untersuchung lehren, jedenfalls nicht realisirt sind. (A. a. O. §. 3 und §. 4).

dass unter den unendlich vielen Lagen, welche das Auge bei gegebener Richtung der Sehaxe einnehmen könnte, immer diejenige in Wirklichkeit stattfinde, welche den aktiv contrahirten Muskeln weniger Gesammtanstrengung zumuthe als jede andere; dabei sieht Fick vorerst noch von den Augenbewegungen ab und sucht nur nach statischen Grundsätzen die Augenstellungen abzuleiten. Auf den ersten Blick scheint es vielleicht, als wenn dieser Weg am sichersten zum Ziele führen müsste, aber erwägt man, wie sehr approximativ die relativen Zugkräfte von Muskeln durch Messungen sich bestimmen lassen, und wie man vollends bei der Bestimmung der Widerstände lediglich auf eine ganz ungefähre Schätzung angewiesen ist, so erscheint es zweifelhaft, ob man je auf diese Weise zu besonders verwerthbaren Resultaten werde gelangen können, um so mehr als in den der Rechnung zu Grunde gelegten Verhältnissen offenbar individuelle Schwankungen in ziemlicher Ausdehnung stattfinden und niemals die Resultate, welche Messungen an einem bestimmten Auge ergeben, an demselben Auge durch den Versuch sich prüfen lassen. Zudem scheint endlich die ganze Voraussetzung, dass eine Muskelgruppe zum Vollzug einer bestimmten Bewegung sich immer das Minimum der hierbei möglichen Gesammtanstrengung aussuche, obgleich sie allerdings a priori viel Wahrscheinlichkeit für sich hat, durch anderweitige Erfahrungen nicht hinreichend gestützt zu sein, um sie ohne Weiteres an die Spitze einer Untersuchung zu stellen. Die Resultate, die Fick durch die Rechnung erhalten hat, sind wenig geeignet diese Bedenken zu heben.

Die auf die Sehaxe projicirten Drehstellungen des Auges, die immer nur wenige Winkelgrade betragen, sind an und für sich für die Zwecke, zu denen wir uns hier auf die Erörterung der Augenbewegungen eingelassen haben, von sehr wenig Bedeutung, es würde ihnen eine solche nur zukommen, wenn sie sich zu Schlüssen über die wirklichen Bewegungen des Auges benützen liessen. Da dies nicht der Fall ist, so müssen wir nach andern Methoden zur Ermittlung derselben uns umsehen.

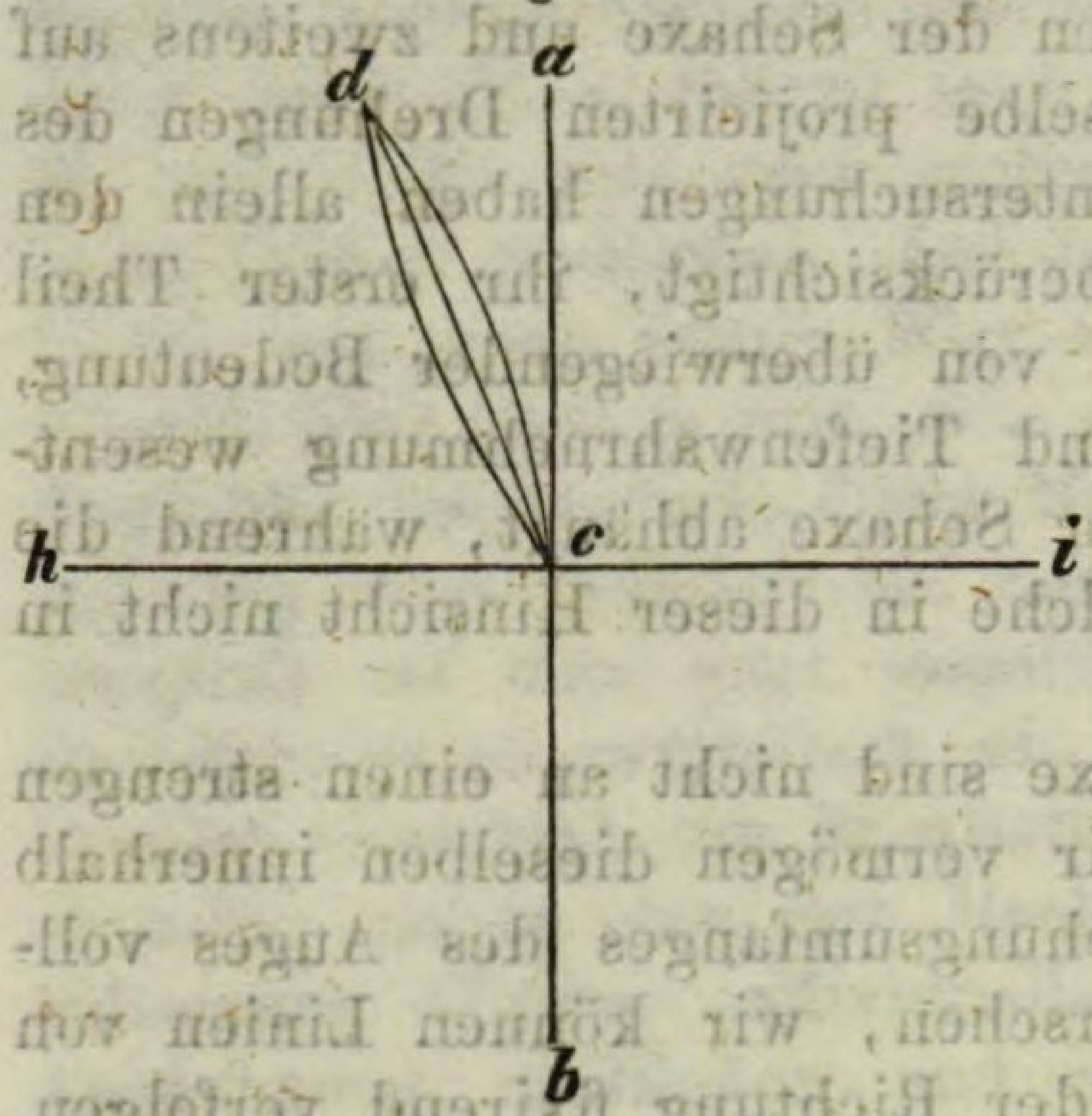
Das Auge kann annähernd als eine um ihren festen Mittelpunkt sich drehende Kugel betrachtet werden. Die Bewegung eines auf diese Weise sich drehenden Körpers ist nun in ihrem Verlauf vollständig bestimmt, wenn erstens die Lage bekannt ist, welche irgend ein sich bewegender Punkt des Körpers in jedem Moment der Bewegung einnimmt, und wenn zweitens diejenige Drehung gegeben ist, welche der Körper in jeder dieser Lagen in Bezug auf eine durch jenen Punkt gelegte Axe

erfahren hat. Zu dieser Axe werden wir offenbar im Auge am einfachsten die Sehaxe selber nehmen, und es reducirt sich dann das ganze Problem der Augenbewegungen erstens auf die Ermittlung der Bewegungen der Sehaxe und zweitens auf die Bestimmung der auf dieselbe projicirten Drehungen des Augapfels. Die bisherigen Untersuchungen haben allein den zweiten Theil der Aufgabe berücksichtigt, ihr erster Theil aber ist für uns bei weitem von überwiegender Bedeutung, da die räumliche Flächen- und Tiefenwahrnehmung wesentlich von den Bewegungen der Sehaxe abhängt, während die Drehungen um dieselbe als solche in dieser Hinsicht nicht in Betracht kommen.

Die Bewegungen der Sehaxe sind nicht an einen strengen Zwang gebunden, sondern wir vermögen dieselben innerhalb des überhaupt möglichen Drehungsumfanges des Auges vollkommen willkürlich zu beherrschen, wir können Linien von jeder Krümmung und von jeder Richtung fixirend verfolgen. Anders ist dies, wenn wir nicht fixiren, sondern in continuirlicher Bewegung von einem Fixationspunkt zu einem entfernteren übergehen. Hier wissen wir über den Weg der Sehaxe von vornherein gar nichts, und erst besondere Versuche werden uns darüber Aufschluss zu geben vermögen, aber wir werden auch ohne diese wenigstens vermuthen dürfen, dass in diesem Falle die Sehaxe sich nicht in völlig regelloser Weise bewegt, sondern dass dieselbe, um von einem Fixationspunkt zu einem bestimmten andern überzugehen, immer den gleichen Weg einschlägt. Schon durch das blosse fixirende Verfolgen von Linien verschiedener Richtung und Krümmung können wir zu einer Vermuthung gelangen über die Art, wie die Sehaxe sich wirklich bewegt, wenn sie nicht zu fortwährender Fixation genöthigt wird. Wir können nämlich mit Wahrscheinlichkeit annehmen, dass diejenige Linie, welche die Sehaxe, wenn sie in bestimmter Richtung sich bewegt, am ungezwungensten fixirend verfolgt, derjenigen ähnlich kommt, welche die Sehaxe bei freier Bewegung einschlagen würde. Stellt man nun diese Probe an, so kömmt man zu folgendem Ergebnisse. Man findet, dass, wenn man von einem Fixationspunkt c aus, Fig. 3, zu einem andern vertikal über ihm gelegenen a oder zu einem vertikal unter ihm gelegenen b übergehen will, man am ungezwungensten in den geraden Linien ca und cb verbleibt; ebenso verhält es sich, wenn man nach den horizontal von c gelegenen Punkten h oder i übergeht. Geht man dagegen zu irgend einem Punkt über, der schräg zur Horizontalen geneigt ist, z. B. zu dem links oben gelegenen Punkte d, so fällt es sehr

schwer während der ganzen Bewegung in der geraden Linie zu bleiben, ebenso ist es für das Auge unangenehm, in dem nach innen, gegen c a, convexen Bogen sich zu bewegen, der Weg hingegen, der vollkommen ungezwungen eingeschlagen wird, ist derjenige Bogen, der seine Convexität nach aussen kehrt. Zu entsprechenden Resultaten gelangt man in den übrigen drei der vier Quadranten, in welche das Sehfeld durch die Linien a b und h i getheilt wird: bei jeder schräg nach aussen gehenden Bewegung ist der am leichtesten zu verfolgende Bogen nach aussen convex, bei jeder Bewegung nach innen ist derselbe nach innen convex.

Fig. 3.



So sehr aus diesen Vorversuchen schon mit Wahrscheinlichkeit auf die wirklichen Wege der Sehaxe bei freier Bewegung des Auges geschlossen werden kann, so sind dieselben doch nicht genügend, um hierin vollständige Sicherheit zu verschaffen. Zur definitiven Untersuchung schlug ich daher folgende Methode ein. Ein Bogen Papier wurde in quadratische Felder getheilt und jedes dieser wurde mit einer Zahl, einem Buchstaben oder einem andern Merkpunkt versehen. Die Merkpunkte müssen so gewählt werden, dass sie bei raschem Ueberfliegen leicht erkannt und nachher leicht wieder aufgefunden werden können, die gleichen dürfen daher nur in grösseren Abständen sich wiederholen. Man fixire nun zunächst bei gerade aus gerichteter Sehaxe einen dieser Punkte, während man das Papier in einer auf der Sehaxe senkrechten Ebene und in bestimmtem Abstand vom Auge hält; zugleich merke man sich einen andern Punkt, den man gerade noch im indirekten Sehen beobachten kann, und auf den man die Sehaxe überzuführen gedenkt, es ist gut, diesen Punkt noch mit einem besondern Zeichen zu versehen, damit man ihn nicht etwa verliere. Geht man nun vom ersten Fixationspunkt in continuirlicher Bewegung zum zweiten über, so ist es nach einiger Uebung leicht möglich, wenigstens einen zwischenliegenden Punkt, der mit der Sehaxe überfahren wird, wahrzunehmen; macht man daher denselben Weg in derselben Richtung mehrmals nach einander, so kann man leicht mehrere

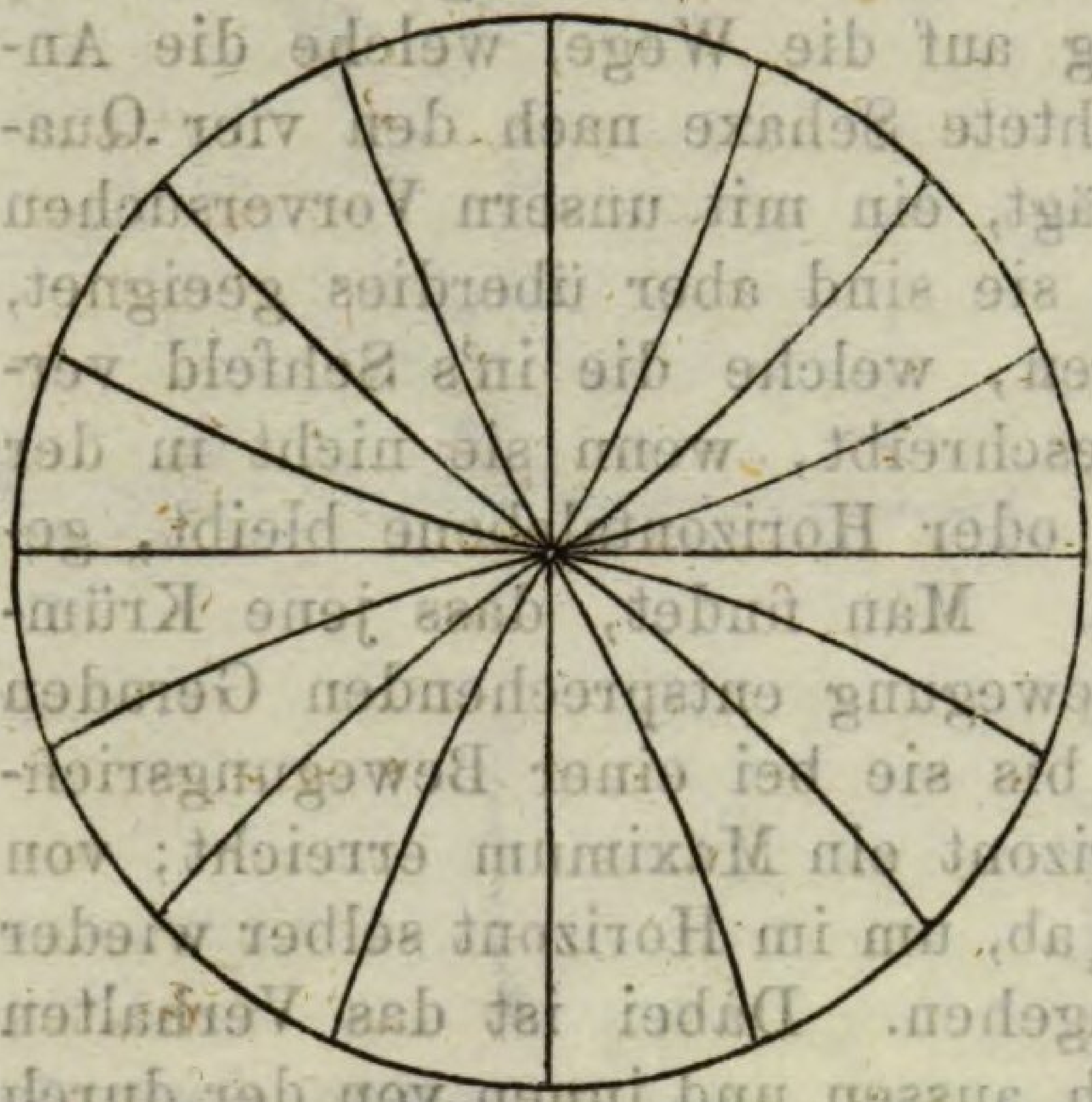
derartige Punkte auffinden, und durch Verbindung derselben erhält man die Curve, welche die bis zur Fläche des Sehfeldes verlängert gedachte Sehaxe in diesem beschreibt.

Diese Versuche, deren Resultat nothwendig vollkommen objektiv ist, geben in Bezug auf die Wege, welche die Anfangs gerade nach vorn gerichtete Sehaxe nach den vier Quadranten des Sehfeldes einschlägt, ein mit unsern Vorversuchen übereinstimmendes Ergebniss, sie sind aber überdies geeignet, über die Krümmung der Bögen, welche die in's Sehfeld verlängerte Sehaxe in diesem beschreibt, wenn sie nicht in der durch sie gelegten Vertikal- oder Horizontalebene bleibt, genaueren Aufschluss zu geben. Man findet, dass jene Krümmung von der der Vertikalbewegung entsprechenden Geraden ausgehend allmälig zunimmt, bis sie bei einer Bewegungsrichtung von 45⁰ gegen den Horizont ein Maximum erreicht; von da nimmt sie wieder allmälig ab, um im Horizont selber wieder in eine gerade Linie überzugehen. Dabei ist das Verhalten vollkommen symmetrisch nach aussen und innen von der durch die Sehaxe in ihrer Anfangsstellung gelegten Vertikalebene und nach oben und unten von der durch sie in derselben Stellung gelegten Horizontalebene. — Weiterhin liefern diese Versuche das Ergebniss, dass die ermittelten Bewegungen der Sehaxe nicht etwa an eine bestimmte Lage derselben gebunden sind, dass sie nicht bloss von einer einzigen bestimmten Primärstellung ausgehen, sondern, in welcher Neigung zur Medianebene des Kopfes und zum Horizont sich die Sehaxe auch befinden möge, immer haben die Linien, welche die von hier aus geschehenden Bewegungen derselben im Sehfelde darstellen, den gerade fixirten Punkt zum Durchschnittspunkt und geschehen, insoweit sie nicht durch den Bewegungsumfang des Augapfels beschränkt werden, in der Weise, dass die Sehaxe in einer durch sie und durch den vertikalen oder horizontalen Meridian des Auges gelegten Ebene mit ihrem Endpunkt im Sehfeld sich geradlinig bewegt, während sie in allen andern Richtungen Bögen beschreibt, welche Bögen in den äusseren der vier Quadranten, in die jene Ebenen das Sehfeld trennen, nach aussen convex, in den inneren Quadranten mit ihrer Convexität nach innen gekehrt sind.

Man kann sich die Bewegungen der Sehaxe durch die Fig. 4 versinnlichen, in welcher rings um den Fixationspunkt die verschiedenen Wege gezeichnet sind, die sie von ihm aus im Sehfelde nehmen kann. Diese Figur ist nicht fest, sondern sie wandert gewissermaasen mit der Sehaxe herum; sobald dieselbe auf irgend einer der Linien zu einem neuen Fixations-

punkt übergegangen ist, so ist dieser auch zu einem neuen Bewegungsmittelpunkte geworden, von dem die Bewegungen wieder in gleicher Weise ausgehen, insoweit nicht ihr Umfang in Folge der beschränkten Drehungsamplitude des Augapfels sich geändert hat. Die wirklichen Bewegungen der Sehaxe bieten übrigens noch eine sehr grosse Mannigfaltigkeit, weil sie continuirliche gerade Linien oder Bogen nur beim Uebergang vom einen Fixationspunkt zum andern beschreibt. Sowie aber ihre Bewegung in Absätzen geschieht, so hat auch die Curve, die sie beschreibt, an jedem zwischenliegenden Fixationspunkt einen Wendepunkt. Die Wendepunkte rücken um so näher zusammen, je näher sich die Fixationspunkte kommen, wenn wir daher eine Linie fixirend verfolgen, so sind sie sich unendlich nahe, die Linie, welche den Bewegungen der Sehaxe im Sehfeld entspricht, wird mit der fixirend verfolgten Linie identisch.

Fig. 4.



Die erörterten Bewegungen der Sehaxe spielen eine grosse Rolle bei der Anschauung von Natur- oder Kunstformen und bilden die physiologische Grundlage für den ästhetischen Eindruck, den diese Formen auf uns hervorbringen. Schon Joh. Müller ist gerade durch diese Verhältnisse zu einer richtigen Ahnung geführt worden. Er sagt: „die Bewegungen der äussern Natur sind durch dieselbe Wesenheit schön, als wodurch sich das Auge in seinen Bewegungen gefällt.“ Er glaubt nun, geradlinige Bewegungen seien uns minder natürlich, ein wohlgebildetes Auge gehe, wo es immer kann, in Bogenlinien von einem Gegenstande zu anderen fixirend über[1]). — So viel ich jedoch finden kann, machen geradlinige Formen, wenn sie vertikal aufsteigen, uns keineswegs einen unangenehmen, sondern einen imposanten Eindruck. Hierauf beruht z. B. der Eindruck des gothischen Baustyls, bei dem eine Menge in grosse Höhe aufsteigender gerader Linien benützt sind, um auf uns eine so erhebende Wirkung zu üben, wie sie durch

[1]) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 262 u. f.

andere Formen niemals erzielt werden kann. Ebenso sind eine Reihe gerader Linien, die in einer horizontalen Flucht sich ausbreiten, z. B. ferne Häuserreihen, die in regelmässigem Parallelismus vor uns aufgebaut sind, uns von keinem unangenehmen Eindruck. Sehr ungern erträgt dagegen unser Auge schräg geneigte Flächen von grösserer Ausdehnung und ganz peinlich werden uns vollends solche Flächen, wenn sie sich parallel zu einander oft wiederholen, wie das z. B. im chinesischen Baustyl häufig realisirt ist, wo mehrfache parallele Dächer in geringen Entfernungen über einander vorzukommen pflegen. Alle schräg geneigten Flächen verlangt unser Auge bogenförmig angelegt, und wo die Fläche von grösserer Ausdehnung ist, da muss der Bogen in einer Schlangenlinie verlaufen, damit wir an deren Wendepunkt einen Ruhepunkt haben, von dem aus die Sehaxe nach auf- oder abwärts geht. Aber auch die Form der Bogen ist uns hierbei gar nicht gleichgültig: eine bis zur Spitze mit nach aussen convexen Bogenlinien zulaufende Kuppel würde unser ästhetisches Gefühl beleidigen, wir verlangen durchaus, dass eine Kuppel mit nach innen convexen Bögen endigt, und erst unter diesen macht die umgekehrte Krümmung einen wohlgefälligen Eindruck. Der Grund hierfür liegt darin, dass wir ein architektonisches Kunstwerk niemals von der Spitze anfangend betrachten, sondern wir nehmen irgend einen durch die Form selber gegebenen Ruhepunkt, wie z. B., wenn man speciell die Kuppel in's Auge fassen will, den Wendepunkt der Schlangenlinie, die ihre Bögen mit einander bilden, zum ersten Fixationspunkte und gehen dann von diesem aus nach oben oder nach unten. Das Auge verlangt nun, um eine Form angenehm zu finden, dass die von diesem Ruhepunkt ausgehenden Contouren den Bewegungslinien der Sehaxe conform seien, es verlangt also bei der Bewegung nach oben entweder eine vertikal ansteigende Gerade oder einen Bogen, der nach aussen concav ist, bei der Bewegung nach unten entweder wieder eine vertikale Gerade oder einen Bogen, der nach aussen convex ist. Aehnlich verhält es sich bei der Anschauung von Naturgegenständen: eine Bergkette, deren einzelne Bergrücken gleichmässig convex sind, spricht uns sehr wenig an, nicht wegen ihrer Einförmigkeit, sondern weil die Formen dem Auge wirklich wehe thun, und dieses bleibt mit wahrer Lust auf der kleinsten Concavität ruhen, die es irgendwo noch erspähen kann, auch hier liegt der Grund darin, dass wir eine Gegend nie von den Berggipfeln anfangend betrachten, sondern mit unserm Auge von unten nach oben gehen. Eine Reihe von

Berggipfeln, die abschüssig, mit ihrer Concavität nach aussen gekehrt, ansteigt, gefällt uns trotz ihrer Einförmigkeit, ja eine derartige Gebirgsgegend macht auf uns eine um so grössere Wirkung, je gleichmässiger diese Bergform sich wiederholt.

Es liessen sich noch eine Reihe ähnlicher Thatsachen anführen, die alle aus dem gleichen Princip sich erklären. Jeder, der auf diesen Gegenstand aufmerksam ist, wird aber leicht genug Beispiele in seinem Beobachtungskreis auffinden, welche als Bestätigungen des experimentell ermittelten Bewegungsprincips des Auges im Gebiet alltäglicher Erfahrung dienen können. Schliesslich genüge es hier, nur zu erwähnen, dass dasselbe Princip für die Physiognomik des Blicks von der grössten Wichtigkeit ist, indem viele hierher gehörige Thatsachen in demselben erst ihre Erklärung finden; die nähere Erörterung dieser anthropologischen Frage liegt unserm jetzigen Zweck allzu ferne. Ebenso müssen wir die genauere experimentelle Darlegung der Wege der Sehaxe und die an sie sich anschliessenden theoretischen Folgerungen einem andern Ort vorbehalten, und wir beschränken uns in letzterer Hinsicht auf folgende Bemerkung, die unmittelbar aus den bisherigen Ermittlungen sich ergiebt.

Die Bewegungen der Sehaxe können nur dann um eine feste Axe erfolgen, wenn das Ende der Sehaxe grösste Kreise beschreibt, wenn sie also verlängert gedacht im Sehfeld gerade Linien verfolgt. Dies ist, wie wir gefunden haben, nur der Fall, wenn sie in einer durch den vertikalen oder horizontalen Netzhautmeridian gelegten Ebene bleibt. Da sie sich in allen andern Richtungen in Bogenlinien bewegt, also keine grössten Kreise beschreibt, so muss auch die Drehungsaxe für alle diese Richtungen eine bewegliche sein, und die Ermittlung des Orts der momentanen Drehungsaxe hängt dann ab von der Beschaffenheit des durchlaufenen Bogens. Da der Krümmungshalbmesser dieses Bogens höchst wahrscheinlich veränderlich ist, so wird die analytische Ableitung des augenblicklichen Ortes der Drehungsaxe sehr verwickelt, geometrisch lässt sich dagegen derselbe in allen Fällen auf sehr einfache Weise auffinden. Die Sehaxe beschreibt bei ihrer Bewegung zwei gekrümmte Flächen, von denen die eine nach vorn, die andere nach hinten vom Drehpunkte liegt, davon brauchen wir nur die erstere zu berücksichtigen, weil die andere sich ganz symmetrisch verhält, so dass beide nur die zwei zusammengehörigen Drehungshalbaxen liefern; wir ziehen also bei der ganzen Drehung nur die nach vorn gekehrte Halbkugel des Auges in Betracht. Um nun die Drehungsaxe für irgend einen

Moment der Bewegung zu finden, lege man an das Flächenelement, das der momentanen Lage der Sehaxe entspricht, eine tangirende Ebene; errichtet man auf diese Ebene eine durch den Drehpunkt gehende Senkrechte, so ist die letztere die momentane Drehungsaxe. Construirt man auf gleiche Weise für alle die übrigen Flächenelemente die entsprechenden Drehungsaxen so erhält man eine gekrümmte Fläche, welche ein Stück der Oberfläche eines Kegels bildet, und welche die Orte aller während der ganzen Dauer der Bewegung vorhandenen augenblicklichen Drehungsaxen enthält.

4. Ueber die Entstehung des Sehfeldes.

Die Wahrnehmung der räumlichen Fläche, die allen weiteren Raumvorstellungen vorangeht und dieselben erst möglich macht, ist beim Gesichtssinn so innig mit der reinen Empfindung verknüpft, dass für uns kein irgendwie in's Bewusstsein fallender Akt zwischen der Empfindung und ihrer Wahrnehmung in räumlicher Form in der Mitte liegt. Damit ist jedoch durchaus nicht gesagt, dass die Gesichtsempfindung an und für sich schon eine räumliche sei, dass die räumliche Form auf allen Stufen des Lebens und in allen Ordnungen der Thierwelt ebenso wie beim ausgebildeten Menschen als ein untrennbares Attribut derselben zukomme, sondern es wäre noch immerhin möglich, dass unbewusste psychische Vorgänge, die erst während des Lebens und bei einem gewissen Grad seelischer Ausbildung sich vollziehen können, die räumliche Form der Gesichtsempfindungen zu Stande brächten. Wir wollen die Frage, ob die durch das Auge vermittelten Raumanschauungen in allen Fällen mit den Licht- und Farbenempfindungen zusammenfallen oder nicht, ob wir also beim Gesichtssinne nur von einer Raumempfindung oder mit Recht von einer Raumwahrnehmung sprechen können, zunächst einer vorurtheilsfreien Prüfung unterwerfen.

Man ist von physiologischer Seite aus von jeher geneigt gewesen, die Empfindung und ihre räumliche Auffassung als durchaus ungetrennte Akte anzusehen, und man hat hierfür beim Gesichtssinn im Allgemeinen dieselben Gründe geltend gemacht, man ist dabei von denselben anatomischen Voraussetzungen ausgegangen, die wir beim Tastsinn in Bezug auf die Haut schon erörtert haben. Beim Gesichtssinn schien diese Anschauungsweise wo möglich noch eine grössere Berechtigung zu haben, einestheils weil hier in der That weit schwieriger die Trennung der Empfindung und ihrer räumlichen Objektivirung sich aufzeigen lässt, anderntheils weil die

Struktur der Netzhaut selbst die anatomische Hypothese, welche auf die mosaikartige Anordnung der peripherischen Nervenenden sich stützte, in hohem Grade zu begünstigen schien.

E. H. Weber[1]) wurde durch seine Untersuchungen über den Tastsinn veranlasst, eine ähnliche Methode zur Bestimmung der Schärfe des Raumsinnes der Netzhaut in Anwendung zu bringen. Er beobachtete, wie klein die Entfernung sein durfte, in die er zwei schwarze Parallellinien auf weissem Grunde, die sich in bestimmtem Abstand vom Auge befanden, bringen konnte, damit dieselben von dem normalen Auge noch als doppelt erkannt würden; er fand, dass dies noch möglich war, wenn die Distanz ihrer Bilder auf der Retina nur 0,00119 — 0,00148''' betrug. Uebrigens scheinen in dieser Hinsicht noch individuelle Schwankungen vorzukommen, so musste Volkmann[2]) unter gleichen Verhältnissen den Parallellinien einen solchen Abstand geben, dass die Distanz ihrer Netzhautbilder 0,0021 — 0,0037''' betrug; ebenso weichen die von Andern erhaltenen Zahlen unter einander ab. Diese sehr grosse Schärfe des Raumsinns gilt aber nur für die Stelle des deutlichsten Sehens, für die Gegend des gelben Flecks; nach den Seitentheilen der Netzhaut hin nimmt die Schärfe des Unterscheidungsvermögens sehr rasch ab, wie aus den Untersuchungen von Volkmann und von Aubert und Foerster[3]) hervorgeht. Nach den Letzteren geschieht diese Abnahme nicht gleichmässig sondern erstens um so schneller, je weiter sich die Punkte von der Sehaxe entfernen, und zweitens in den verschiedenen Meridianen nach der Peripherie hin in ungleicher Weise, und zwar geschieht in der vertikalen Richtung die Abnahme schneller als in der horizontalen. Die erstere Thatsache ist auch schon aus den frühern Versuchen von Volkmann ersichtlich: bei einem Auge, bei dem die kleinste wahrnehmbare Distanz im Netzhautbild am Endpunkt der Sehaxe 0,0029''' betrug, war dieselbe bei einem Winkelabstand des Objektes von der Sehaxe von $2^0 = 0{,}0091'''$, bei $4^0 = 0{,}0153'''$, bei $6^0 = 0{,}0383'''$, endlich bei $8^0 = 0{,}3186'''$. Diese Versuchsreihe beweist, dass mit der Entfernung von der Stelle des deutlichsten Sehens die Schärfe des räumlichen Unterscheidungsvermögens schon sehr bald um mehr als das hundertfache abnimmt, die Retina zeigt also in dieser Hinsicht in engem Raume eine noch viel bedeutendere Ab-

1) Berichte der königl. sächs. Gesellsch. der Wissensch. 1852. S. 85.
2) Art. Sehen. S. 319.
3) Arch. f. Ophthalm. Bd. III. Abth. 2.

stufung als die äussere Haut auf einer weit ausgedehnteren Fläche.

Weber betrachtete die Netzhaut wie die äussere Haut getrennt in kleinste Bezirke, die er wie dort Empfindungskreise benannte; er nahm an, dass ein Empfindungskreis immer nur eine Raumeinheit repräsentiren könne, und dass überdies, um zwei Eindrücke räumlich von einander zu scheiden, ein oder mehrere unerregte Empfindungskreise zwischen den von den Eindrücken getroffenen liegen müssten. Bei der Netzhaut stützte er sich in letzterer Beziehung insbesondere auf das Verhalten des blinden Flecks. Bekanntlich bemerken wir die Lücke nicht, die dieser in unserm Sehfelde bildet, und es beruht dies darauf, dass unsere Einbildungskraft jene Lücke so ausfüllt, wie es der Anordnung der wirklich gesehenen Gegenstände im Sehfeld entspricht, was schon vor langer Zeit Dan. Bernoulli bemerkt hat. Weber machte nun folgende Schlussfolgerung: da wir eine unempfindliche Stelle nicht als Lücke im Sehfeld bemerken, so vermögen wir auch, wenn zwei an einander grenzende und nur durch einen unempfindlichen Zwischenraum getrennte Empfindungskreise getroffen werden, die Eindrücke nicht von einander zu scheiden, sondern es wird uns dies erst möglich werden, wenn unerregte Empfindungskreise zwischen denjenigen, auf welche die Eindrücke stattfinden, in der Mitte liegen. — So einnehmend diese Schlussfolgerung auf den ersten Blick scheinen mag, so erweist sie sich doch bei näherer Betrachtung als gänzlich unhaltbar. Wenn wir zwei Eindrücke räumlich von einander trennen, so beruht dies häufig nicht darauf, dass die zwischenliegenden Empfindungselemente unerregt bleiben, sondern im Gegentheil darauf, dass ein heterogener Eindruck sich zwischen sie einschiebt, wir unterscheiden z. B. zwei dunkle Linien so lange als wir noch ihren hellen Zwischenraum sehen. Dies gilt namentlich für sehr nahe Eindrücke, wie sie bei der Untersuchung der Schärfe des Raumsinnes immer angewandt wurden. Anders verhält es sich bei Eindrücken von grösserer Entfernung: es lässt sich nicht leugnen, dass wir in diesem Fall auch in absoluter Dunkelheit, wenn also jedenfalls die grösste Zahl zwischenliegender Empfindungselemente absolut unerregt bleibt, über die Distanz zweier leuchtender Körper ein Urtheil haben. Aber es folgt hieraus noch keineswegs, dass wir diese leuchtenden Körper desshalb räumlich trennen, weil wir uns der unerregten Empfindungselemente als unerregter bewusst werden, sondern es könnte dasselbe auch dadurch geschehen, dass wir auf irgend eine andere Weise eine Kennt-

niss besitzen von dem relativen Lageverhältniss der einzelnen Empfindungselemente unserer Netzhaut. Von beiden Möglichkeiten wird nun die erstere theils durch ihre geringe logische Wahrscheinlichkeit theils durch die Erfahrung widerlegt.

Die logische Wahrscheinlichkeit sprechen wir jener Ansicht desshalb ab, weil alle unsere Wahrnehmungen aus Empfindungen stammen, hier aber die Wahrnehmung eines Zwischenraumes gerade durch das Nichtempfinden sonst empfindungsfähiger Theile entstehen soll. Die Erfahrungen, die mit jener Ansicht nicht übereinstimmen, sind gerade die Beobachtungen, die wir am blinden Fleck alltäglich machen. Würde nur das Nichtempfinden empfindungsfähiger Theile uns den Anstoss zum Setzen eines Zwischenraumes geben, so würden wir den Mariotte'schen Fleck nicht als dunkle Stelle oder als Lücke der Gegenstände im Sehfeld sondern als eine wirkliche Lücke des Sehfeldes selber bemerken, d. h. alle die Radien, die vom Mittelpunkt des Sehfeldes aus nach seiner Peripherie durch den blinden Fleck ziehen, würden um den in diesem liegenden Abschnitt verkürzt erscheinen, zwei heterogene Empfindungen, die an den beiden Grenzen des Flecks stattfänden, müssten räumlich verschmelzen oder wenigstens dicht neben einander erscheinen, aber beides wird durch die Beobachtung nicht bestätigt: der blinde Fleck ist nicht ein Mangel im Sehfeld sondern nur eine Lücke der Gegenstände im Sehfeld, gewöhnlich aber wird er wegen der ergänzenden Thätigkeit unserer Einbildungskraft nicht einmal als solche bemerkt.

Wenn hiernach auch diese besondere Ansicht über die Wahrnehmung von Distanzen sich nicht halten lässt, so könnte man immerhin noch die Fähigkeit räumlicher Orientirung in unserem Sehfelde aus einer angeborenen Kenntniss desselben ableiten, man könnte immerhin noch denken, dass die Seele lediglich durch ein natürliches Vermögen die Eindrücke in derselben Ordnung, in der sie räumlich stattfinden, auffasse. Diese Hypothese ist wie die ähnliche beim Tastsinn durchaus gebunden an die Annahme fester Empfindungskreise. Dass es aber solche auch in der Netzhaut nicht giebt geht daraus hervor, dass auch hier die Schärfe des räumlichen Unterscheidungsvermögens veränderlich und namentlich dem Einflusse der Uebung ausgesetzt ist. In letzterer Hinsicht hat neuerdings Volkmann[1]) sehr bemerkenswerthe Untersuchungen angestellt. Er fand, dass für das Auge ebenso wenig wie für das Getast eine kleinste erkennbare Distanz im absoluten Sinn

[1]) Ber. der kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. zu Leipzig. 1858. S. 38.

existirt, sondern dass diese Distanz in Folge der fortgesetzten Uebung eine allmälige Verminderung erfährt. Volkmann hat Tast- und Gesichtssinn näher verglichen und gefunden, dass die Steigerung in der Feinheit der Unterscheidung, welche der letztere Sinn durch die Uebung erfährt, weit geringer ist und langsamer eintritt als die Uebung des Tastorgans; es erklärt sich dies leicht daraus, dass wir die Uebung des letztern im Vergleich zum Auge gewöhnlich vernachlässigen.

Wenn wir sonach sehen, dass ein psychischer Faktor bei der Unterscheidung der kleinsten räumlichen Distanzen jedenfalls mitbestimmend ist, so werden wir auch erwarten müssen, dass die Bildung der Vorstellung des ganzen Sehfeldes als eines räumlich ausgedehnten nicht mit der bestimmten anatomischen Anordnung der Empfindungselemente schon gegeben, sondern dass auch bei ihr noch ein psychischer Vorgang betheiligt ist. Dieser Vorgang kann, wie sich aus der logischen Zergliederung eines jeden Wahrnehmungsaktes ergiebt, kein anderer sein als ein Schlussverfahren, und zwar ein unbewusstes Schlussverfahren, da wir von demselben keine unmittelbare Kenntniss besitzen; unsere Aufgabe besteht daher darin, nach denjenigen physiologischen Verhältnissen des Gesichtssinnes zu suchen, welche für die Seele das Material zur Bildung jener Schlüsse abgeben, die zur Entstehung der räumlichen Gesichtswahrnehmungen führen. Diese Verhältnisse können, wenn unsere Voraussetzung, dass die Raumanschauung sich erst aus der Empfindung herausbildet, richtig ist, in nichts anderem begründet sein als in besondern Qualitäten der Empfindung. Derartiger Qualitäten kommen aber bei den Gesichtswahrnehmungen zwei in Betracht: erstens die Qualitäten der Gesichtsempfindung selber und zweitens die Qualitäten der mit den Bewegungen des Auges verknüpften Muskelempfindungen. Wir werden uns überzeugen, dass nur aus dem gleichzeitigen Vorhandensein und der Correspondenz beider ein zu räumlich ausgedehnten Gesichtswahrnehmungen führendes Schlussverfahren sich ableiten lässt, und wir werden sehen, dass, wenn auch die erste Bildung der Gesichtswahrnehmungen in eine Zeit zurückfällt, die über alle Beobachtung hinaus liegt, doch aus gewissen Eigenthümlichkeiten, die noch unsern ausgebildeten Gesichtsvorstellungen zukommen, der Einfluss jener beiden Faktoren mit einer so grossen Wahrscheinlichkeit sich nachweisen lässt, als sie in diesem Gebiete nur möglich ist.

Wir müssen beim Auge wie bei der Haut zweierlei Verschiedenheit hinsichtlich der Empfindungsqualität unterscheiden:

die erste Verschiedenheit rührt her vom objektiven Eindruck, es gehören also hierher die Farben und ihre Mischungen, je nach ihrer Art und Intensität, die zweite Verschiedenheit, die uns hier angeht, rührt her von dem Punkt der Netzhaut, auf welchen der Eindruck stattfindet. Dass es eine derartige lokale Färbung der Empfindung giebt hat schon Purkinje[1]) bewiesen, indem er zeigte, dass jede Farbe mit ihrer Entfernung vom Retinalcentrum bestimmte Farbentöne durchläuft, bis sie endlich einen Grenzpunkt erreicht, von wo an sie nur noch schwarz erscheint; neuerdings sind durch Aubert[2]) diese Versuche bestätigt worden. Dass ferner jene Aenderung der Farbennüançe nicht von der allerdings auf den Seitentheilen der Retina rascher eintretenden Ermüdung herrührt, wird theils dadurch bewiesen dass sie vom ersten Moment an vorhanden ist, theils dadurch dass die Farbe auf den Seitentheilen der Netzhaut um so besser wahrgenommen wird je grösser die farbige Fläche ist. Man kann somit die von dem Ort des Eindrucks abhängigen Empfindungsqualitäten nur in Verschiedenheiten der Empfindungselemente selber suchen.

Es liesse sich jedoch einwenden, diese Verschiedenheit in der Qualität der Empfindung dürfe hier nicht in Betracht gezogen werden, weil sie nur in grösserer Entfernung vom Retinalcentrum und nur in Distanzen, die die feinsten Unterscheidungsgrenzen weit übertreffen, sich nachweisen lasse. Hiergegen ist nun zu bemerken, dass, sobald einmal die Untersuchung eine Abstufung der Empfindung nachweist, Niemand folgerichtig wird annehmen können, diese Abstufung geschehe plötzlich in den grössern Distanzen, in denen wir sie wirklich bemerken, sondern offenbar werden uns die feineren Nüançen entgehen, und die Empfindungsverschiedenheit wird uns dann erst deutlich bewusst werden, wenn sie einen gewissen Grad erreicht hat; eine Grenze aber, wo die Abstufung plötzlich geschieht, werden uns nur die Empfindungselemente selber geben, wenn auch unser Unterscheidungsvermögen vielleicht niemals bis zu dieser Grenze gelangen kann. Es wird daher, obgleich wir an der Stelle des deutlichsten Sehens in ziemlicher Ausdehnung keine Verschiedenheit der Empfindung nachweisen können, dennoch jedem einzelnen Element eine solche zukommen. Aber giebt man auch dies zu, so kann mit Recht die weitere Frage erhoben werden: können wir Unterschiede, die für unsere Beobachtung zu fein sind, noch bei der Wahrnehmung in Rech-

1) Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Bd. II.
2) Archiv für Ophthalmologie. Bd. III. 2. Abth., S. 38.

nung ziehen? Für die bejahende Beantwortung dieser Frage spricht Folgendes.

Es ist eine allgemein anzuerkennende Thatsache, dass diejenigen Empfindungsverschiedenheiten, die von dem Ort des Eindrucks abhängen, unserer subjektiven Beobachtung viel schwieriger zugänglich sind als diejenigen Verschiedenheiten, die von qualitativ differenten Eindrücken abhängen, und es mag dies wohl daher rühren, dass wir zu sehr daran gewöhnt sind, die ersteren Verschiedenheiten nur auf einen Wechsel der Lokalisirung der Eindrücke zu beziehen, um das was uns zu dieser Beziehung ursprünglich veranlasste noch zu bemerken, wenn nicht besonders günstige Umstände uns unterstützen. Dies zeigt sich gerade bei den Gesichtsempfindungen: wir bemerken die qualitative Verschiedenheit der Empfindung auf den Seitentheilen der Netzhaut nur, wenn wir das Bild einer gefärbten Fläche von geringer Ausdehnung durch indirektes Sehen successiv mit verschiedenen Netzhautstellen betrachten, aber beim direkten Sehen grösserer Flächen von gleichmässiger Färbung nehmen wir, selbst wenn sie nahezu unser ganzes Sehfeld ausfüllen, von einer Verschiedenheit der Empfindung auf den Seitentheilen der Netzhaut nichts wahr; offenbar hat dies darin seinen Grund, dass wir, an diese Verschiedenheit, die uns überall begleitet, gewöhnt, dieselbe unbewusst stets mit in Rechnung ziehen und erst dann eine Verschiedenheit der Empfindung in den Seitentheilen des Sehfeldes objektiviren, wenn sie mit jener nicht correspondirt. Eine mächtige Stütze gewinnt diese Ansicht in der Analogie, welche der Muskelsinn mit diesem Verhalten darbietet. Es lässt sich nicht leugnen, dass auch eine Verschiedenheit in dem Grade der Muskelempfindungen auf subjektivem Weg äusserst schwer sich ermitteln lässt, und es dürfte dafür am allermeisten der Umstand sprechen, dass noch in neuester Zeit bei einigen Physiologen Zweifel darüber entstehen konnten, ob ein Muskelsinn überhaupt existire oder nicht. Nichts desto weniger lässt es sich durch Versuche, die wir unten kennen lernen werden, gerade bei den Augenmuskeln objektiv nachweisen, dass wir fast unendlich kleine Verkürzungsgrade zu unterscheiden vermögen, und dass wir für diese Unterscheidung allein in den Muskelempfindungen einen Massstab besitzen können. Auch hier haben wir stets unser Augenmerk nur auf das Ziel gerichtet, das wir bei den Verkürzungen unserer Augenmuskeln bezwecken, auf die Bewegung, und wir glauben unser Bewegungsvermögen zu schärfen, während wir in der That uns in der Unterscheidung von Empfindungs-

graden vervollkommnen; ganz ähnlich glauben wir die empfindenden Flächen unserer Sinnesorgane in den Unterscheidungen kleinster Distanzen zu üben, während wir in Wirklichkeit immer feiner und feiner die Empfindungsverschiedenheiten der einzelnen Punkte derselben auffassen lernen. —

Wenn wir bei der Haut die Verwerthung der in Bezug auf die Nervenendigungen bekannten anatomischen Thatsachen zu physiologischen Folgerungen als ein verfrühtes Bestreben bezeichnen mussten, so gilt dies nicht in gleicher Weise vom Auge. Die physiologische Untersuchung des Tastorganes findet die Haut bestehend aus einem continuirlichen und continuirlich abgestuften Zusammenhang empfindender Punkte, sie fordert daher einen ähnlichen Zusammenhang der anatomischen Empfindungselemente, d. h. sie fordert, dass die Zwischenräume zwischen den letztern kleiner seien als der Bezirk des feinsten Tasteindrucks, und dass zugleich die Flächenausdehnung jedes einzelnen von der Ausdehnung jenes Bezirkes so wenig verschieden sei, dass in der örtlichen Abstufung der Tastempfindungen eine Discontinuität niemals entstehen kann. Diesen Anforderungen entsprechen aber die bisher als Tastorgane beanspruchten Gebilde keineswegs, es bleibt uns daher vorerst nur übrig, die ganze Hautfläche mit ihren von Punkt zu Punkt abgestuften Empfindungsqualitäten als Organ des Tastsinnes zu betrachten; dies ist aber auch für alle bis jetzt möglichen physiologischen Untersuchungen vollkommen ausreichend, denn diese beziehen sich lediglich auf die Theorie der Tast*wahrnehmungen*, die zum Abschluss gebracht werden kann, ohne dass die besondern Strukturverhältnisse bekannt sind, auf denen jene Abstufung der Empfindungsqualitäten beruht. Eine besondere Wichtigkeit konnte man in dieser Hinsicht den Empfindungselementen nur zuschreiben, so lange man in der räumlichen Anordnung derselben die Bildung der Raumanschauung selber gegeben glaubte. Für die Theorie der Sinneswahrnehmung wird die Auffindung specifischer Empfindungselemente in irgend einem Sinnesgebiet niemals etwas zu leisten vermögen, dagegen wird die genaue Kenntniss dieser Elemente die erste und nothwendigste Vorbedingung sein zu einer künftigen Theorie der *Sinnesempfindungen*, damit aber stellen wir alle diese Fragen betreffenden anatomischen Untersuchungen nur um so höher in ihrem physiologischen Werthe [1]).

[1]) Von den Anhaltspunkten, welche uns bis jetzt die anatomische Untersuchung zur Beurtheilung der Verhältnisse, auf welchen die qualitative Abstufung der Tastempfindungen beruhen mag, an die Hand giebt, habe

Wir müssen bei dieser Gelegenheit noch auf ein Missverständniss aufmerksam machen. Man hat, wie es scheint, zuweilen geglaubt, die ganze Frage über die Art der Objektivirung und Lokalisirung der Sinneseindrücke sei geknüpft an die Annahme oder Verwerfung bestimmt angeordneter Empfindungselemente. Daran lässt sich sicherlich nicht zweifeln, dass es gewisse abgegrenzte Elementartheile geben müsse, deren isolirte Erregung, wenn sie je zu Stande kommt, nicht anders als stets in Bezug auf das vom Ort des Eindrucks abhängige Empfindungsquale gleichartig sein kann, theils weil es kaum anders denkbar ist, als dass ein Empfindungselement, auch wenn es an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche einen Eindruck empfinge, doch immer in seiner Totalität in Bewegung gerathen müsste, theils desshalb weil aus andern Untersuchungen hervorgeht, dass die Ausdehnung eines Empfindungselementes jedenfalls zu klein ist, um eine Veränderlichkeit in den Bedingungen der Zuleitung des Reizes auf seiner Oberfläche noch möglich zu machen. Aber mit dem Vorhandensein abgegrenzter Empfindungselemente ist, selbst wenn ihre Anordnung vollständig bekannt ist, über die Form der Wahrnehmung ganz und gar noch nichts ausgesagt. Die Frage, zu deren Entscheidung wir bei der physiologischen Analyse des räumlichen Wahrnehmungsvorganges die Empfindung allein in Betracht ziehen müssen, ist die: welchen Anhaltspunkt giebt die Empfindung unserm Urtheil, um sonst gleichartige Eindrücke, die auf verschiedene Stellen einer empfindenden Fläche stattfinden, von einander zu trennen? Wir fanden in dieser Hinsicht beim Auge wie bei der Haut gegeben die vom Ort des Eindrucks abhängige Abstufung der Empfindung. Ob nun diese durch die Beobachtung gegebene Verschiedenheit der Empfindungsqualität abhängig ist von verschiedenen Bedingungen in der Zuleitung der Erregung oder von Verschiedenheiten der Empfindungselemente selber, lässt sich a priori gar nicht bestimmen. Es liesse sich z. B. recht wohl denken, dass ein

ich in der ersten Abhandlung auf den meist grösseren Nervenreichthum feiner unterscheidender Hautstellen hingewiesen. R. Wagner hat mit Recht hiergegen eingewandt, dass beide Verhältnisse durchaus nicht immer kongruiren, z. B. an den Genitalien. (Gött. gel. Anz. S. 168, 1858.) Ein grösseres Gewicht ist vielleicht der dort ebenfalls erwähnten sehr verschiedenen Abstufung in der Nervenvertheilung beizulegen. Uebrigens gestehe ich zu, dass alle derartige Betrachtungen bis jetzt von allzu provisorischem Werthe sind, als dass es sich der Mühe einer weitern Verfolgung lohnte, um so mehr als die ganze Frage wie gesagt nicht dem Gebiet unserer Untersuchungen sondern einer künftigen Theorie der Tastempfindungen anheimfällt.

Sinnesorgan wie die Haut überall mit völlig gleichartigen Empfindungselementen versehen sei, und dass nur eine stetige Modifikation in der anderweitigen Struktur der Haut das Quale der Tastempfindung stetig verändere. Aber gesetzt auch, es sei hier eine wirkliche Verschiedenheit der Empfindungselemente selber maassgebend, wie dies für's Auge wenigstens sehr wahrscheinlich ist, so kommt dennoch im vorliegenden Falle die nähere Beschaffenheit dieser Elemente desshalb vorerst nicht in Betracht, weil dann, wie gerade die Untersuchung des Raumsinnes lehrt, die Ausdehnung des Eindrucks durchweg die Ausdehnung eines Empfindungselementes sammt dem es begrenzenden Zwischenraum viel übertreffen muss, so dass die wirkliche Empfindung immer erst die Resultante aus der Erregung einer Mehrzahl von Empfindungselementen sein kann; nur beim Auge kommen vielleicht hiervon Ausnahmen vor. Da aber nicht einmal die Empfindungseinheiten bekannt sind, und dies meistens wohl auch niemals sein werden, so kann man noch viel weniger an diejenige Aufgabe denken, welche allein für den vorliegenden Fall sich stellen könnte, nämlich die Verbindungen zu bestimmen, in welche jene Einheiten treten müssen, um unserm mehr oder minder ausgebildeten Unterscheidungsvermögen als qualitativ differente Empfindungen erscheinen zu können.

Beim Auge hat die weit vorgeschrittene anatomische Untersuchung der Netzhaut der Theorie der Gesichtsempfindungen einen sehr mächtigen Vorschub geleistet; beim Auge ist ferner durch die Entdeckung von Helmholtz[1]), dass die Fasern des Sehnerven durch Aetherschwingungen nicht afficirt werden, die früher verbreitete Annahme, wornach der Nerv als solcher die dem besondern Sinnesorgan entsprechende Sinnesempfindung zu Stand bringen sollte, zum ersten Mal direkt widerlegt worden; während jedoch die Sehnervenfasern für objektives Licht unempfänglich sind, werden sie durch alle gemeinsamen Nervenreize in Erregung versetzt, um dieselben als subjektives Licht zu empfinden; es geht hieraus hervor, dass der specifische Sinnesreiz auch specifischer Endorgane bedarf, durch deren Vermittlung er einwirkt, dass aber der Nerv jede Erregung in seiner specifischen Weise empfindet. An diese Thatsache schliesst sich nun noch eine weitere Folgerung an, die uns hier besonders interessirt. So lange man glaubte, dass die frei endenden Primitivfasern den Sinnesreizen unmittelbar zugänglich seien, war die Annahme gerechtfertigt, dass jede Primitiv-

[1]) Beschreibung eines Augenspiegels. Berlin 1850. S. 39.

faser nur eine Empfindungseinheit zu vermitteln vermöge; jetzt ist diese Annahme, deren anatomische Voraussetzungen, namentlich wenn man zu jener Vermittlung eine ungetheilte Primitivfaser für nöthig hielt, schon längst mit den physiologischen Thatsachen im Widerspruch stunden, nicht mehr haltbar, jedes kleinste Endorgan, welches ein Empfindungselement darstellt, wird eine (übrigens bei unsern wirklichen Empfindungen meist nicht mehr in Betracht kommende) Empfindungseinheit repräsentiren, und es wird daher wesentlich auf die Zahl derartiger Elemente ankommen, mit denen eine Primitivfaser in Verbindung steht, aber es lässt sich denken, dass bei gleichartigem Eindruck die Primitivfaser auf verschiedene Weise erregt wird, je nachdem der Eindruck ihr durch verschiedene Endorgane zufliesst. Ein Gleichniss macht dies vielleicht deutlicher: denken wir uns statt der Primitivfaser eine weite mit Wasser gefüllte Röhre, statt der Endorgane eine Menge von Ansatzröhren, in welche dieselbe unten ausläuft, diese seien übrigens von verschiedenem Lumen und an ihren untern Enden verschlossen; wenn man nun auch die gleiche Kraft anwenden muss, um die eine oder andere der Ansatzröhren zu öffnen, so geschieht doch im einzelnen Fall je nach dem Lumen der Ansatzröhre die Bewegung des Wassers in der ersten Röhre mit sehr verschiedener Geschwindigkeit. Ebenso ist es nicht blos denkbar sondern von vornherein sehr wahrscheinlich, dass diejenige Bewegung in der Nervenröhre, die dem Empfindungsvorgang entspricht, welcher Art und Form dieselbe auch sein möge, sich nicht bloss verändere mit der Verschiedenheit des objektiven Eindrucks sondern auch variire je nach den Empfindungselementen, die getroffen werden; die Bewegungen dieser sind ja für die Nervenröhre selbst wieder objektive, und sie werden nur dann gleichartig weitergeleitet werden, wenn sie wirklich gleichartig sind, ist aber die Bewegung jedes Empfindungselementes ausser vom äussern Eindruck noch abhängig von seiner eigenen Beschaffenheit, so wird die letztere ebenso gut wie die erstere in dem Bewegungsvorgang im Innern der Nervenröhre sich wiederspiegeln.

Eine Reihe von Gründen machen es im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Stäbchenschichte der Netzhaut diejenigen Endorgane enthält, welche unmittelbar der Erregung durch Aetherschwingungen zugänglich sind;[1]) und als End-

[1]) Wir verweisen in dieser Hinsicht auf H. Müller's Schrift über die Retina (Leipzig 1856, S. 97 u. f.), aus den dort zusammengestellten anatomischen und physiologischen Gründen heben wir namentlich den direkt

organe selber können nach ihrer Verbreitungsweise mit grosser Wahrscheinlichkeit nur die Zapfen dieser Schichte betrachtet werden. Haben wir aber in den Zapfen die wirklichen Empfindungselemente für den Gesichtssinn, so ist es ausser Zweifel, dass an der Stelle des deutlichsten Sehens die Schärfe des räumlichen Unterscheidungsvermögens unter Umständen bis zu dem äussersten ihr überhaupt erreichbaren Grenzpunkt gelangt: die kleinste wahrnehmbare Distanz, die in verschiedenen Versuchen gefunden wurde, stimmt nämlich ungefähr überein mit dem Durchmesser eines Zapfenquerschnitts, der sich auf etwa 0,002''' angeben lässt. Nach einzelnen Messungen ist die kleinste wahrnehmbare Distanz sogar noch kleiner als dieser Durchmesser; man hat sich dadurch zum Theil veranlasst gesehen, nach noch feineren Empfindungselementen zu suchen, doch scheint dies durch jenes Resultat durchaus nicht geboten zu sein. Man muss nämlich bedenken, dass bei derartigen Messungen auch noch die äusserst empfindlichen Bewegungen des Auges in Betracht kommen, durch diese mag es bei fortgesetzter Uebung gelingen, die Parallelfäden, die man fixirt, genau auf die Grenzen zweier Zapfen einzustellen, und damit scheint übereinzustimmen, dass in diesen Fällen durch die allergeringsten Bewegungen plötzlich das doppelte Bild in ein einfaches verschmelzen kann. Auch das Ergebniss von Volkmann, dass die Uebung von Einfluss auf das Erkennen von Distanzen ist, steht nicht hiermit in Widerspruch. Bei den meisten Menschen hat die Ausbildung des Gesichtssinnes jedenfalls nicht den Grad von Vollkommenheit erreicht, dass sie selbst nur am gelben Fleck das Empfindungsquale jedes einzelnen Zapfens zu unterscheiden vermögen; erst durch eine besondere Uebung, wie sie allein entweder in gewissen Berufsbeschäftigungen oder in physiologischen Versuchen erworben wird, gelangt das Auge so weit; damit stimmen nun Volkmann's Resultate vollkommen überein, indem sie beweisen, dass der Gesichtssinn in dieser Hinsicht nur noch einer sehr geringen Vervollkommnung fähig ist. Ueberdies wird diese letzte Grenze immer nur an der Stelle des deutlichsten Sehens erreicht, an den Seitentheilen der Netzhaut finden sich zwar die Zapfen in weiteren Abständen und von grösserem Durchmesser als hier, immer aber noch dichter ge-

von Müller gelieferten Beweis hervor, dass die Parallaxe, welche der Schatten der Netzhautgefässe beim Purkinje'schen Versuch in Folge der Bewegung der Lichtquelle zeigt, ungefähr der Entfernung der Stäbchenschichte von den Gefässen entspricht.

häuft, als der wirklich erreichten Empfindungsschärfe entspricht; ohne Zweifel würde daher diese an den Seitentheilen der Netzhaut auch der Uebung in höherem Maasse zugänglich sein.

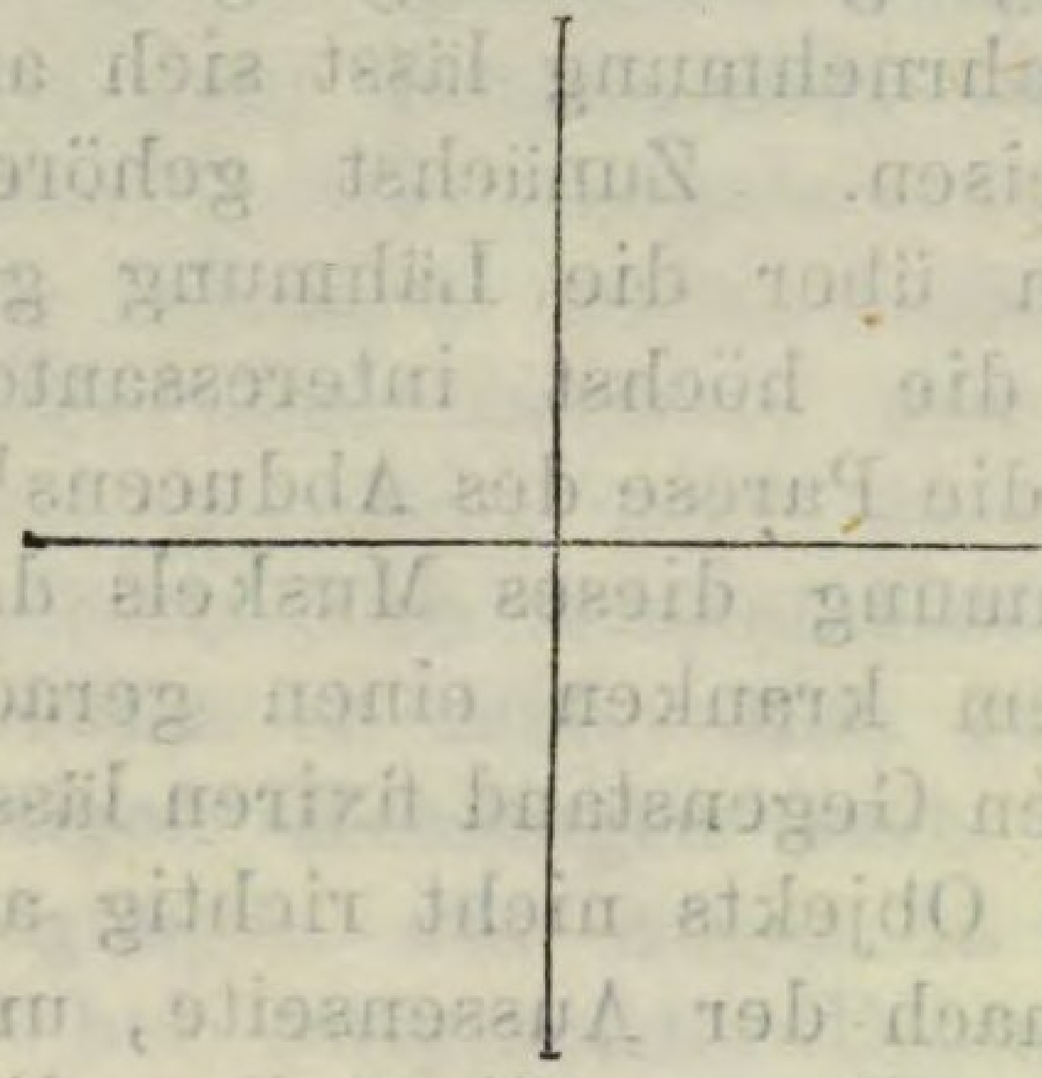
Ehe wir auf die Art näher eingehen, wie das Quale der Gesichtsempfindungen bei der Entstehung des Sehfeldes mitwirkt, müssen wir noch den zweiten bei derselben in Betracht kommenden Faktor, die Bewegungen des Auges, zur Erörterung bringen. Auch die Betheiligung der Bewegungen des Auges an der räumlichen Gesichtswahrnehmung lässt sich am ausgebildeten Gesichtssinne nachweisen. Zunächst gehören hierher pathologische Beobachtungen über die Lähmung gewisser Augenmuskeln, namentlich die höchst interessanten Beobachtungen von Graefe's über die Parese des Abducens[1]). Wenn man bei unvollkommener Lähmung dieses Muskels das gesunde Auge schliesst und mit dem kranken einen gerade aus oder etwas nach aussen liegenden Gegenstand fixiren lässt, so giebt der Kranke die Lage des Objekts nicht richtig an, sondern er verlegt dasselbe mehr nach der Aussenseite, und wenn er es mit der Hand ergreifen will, so gelingt ihm dies erst nach mehreren Versuchen oder bei so langsamer Bewegung, dass er dieselbe fortwährend mit dem Auge verfolgen kann. Diese Erscheinung kann nur von einer Störung des Muskelgefühls herrühren, „um dem Auge die erforderliche Stellung zu geben, muss der schwächer innervirte Abducens einen starken Contraktionsimpuls empfangen, welcher für normale Verhältnisse der Innervation eine weit exkursivere Zusammenziehung des Muskels bewirken würde.“ — Es folgt aus diesen Beobachtungen erstens, dass der Grad des Muskelgefühls immer der vom Muskel aufgewendeten Anstrengung proportionirt ist, und dass wir zweitens im Muskelgefühl ein Maass besitzen für die Grösse der durch die Bewegung der Sehaxe zurückgelegten Wege; wird daher das gewohnte Verhältniss zwischen Contraktionsumfang und Muskelgefühl gestört, wie in jenen pathologischen Fällen, so wird die Lagebestimmung der Gegenstände in der entsprechenden Weise verändert. Das gegenseitige Lageverhältniss der Gegenstände im jedesmaligen Sehfeld bleibt aber in diesen Fällen ungestört, es geben daher diese Versuche immerhin noch keinen Aufschluss darüber, ob auch die ursprüngliche Orientirung im Sehfeld mit der Muskelthätigkeit zusammenhängt oder nicht. Der Beweis, dass ein solcher Zusammenhang stattfindet, lässt

[1]) Archiv für Ophthalmologie, Bd. I. 1. Abth., S. 18.

sich jedoch durch eine Reihe höchst einfacher Beobachtungen führen, die von Jedem in jedem Augenblick gemacht werden können, und die wahrscheinlich schon längst bekannt sein würden, wenn sie uns nicht zum Theil so geläufig wären, dass man sie nicht mehr beachtet.

Man zeichne auf ein Blatt Papier zwei gerade Linien, die sich in ihrer Mitte rechtwinklig durchschneiden, Fig. 5. Diese Figur erscheint, wenn man sie so hält, dass die eine Linie vertikal, die andere horizontal liegt, nicht nach beiden Richtungen von gleicher Ausdehnung, sondern wie ein aufrecht stehendes Kreuz mit kleineren horizontalen Schenkeln. Davon dass dieser Schein nicht etwa von einer wirklichen Ungleichheit beider Linien herrührt, kann man sich sogleich überzeugen, indem man die Figur um 90° dreht, wo dann die vorher kleinere Linie zur grössern wird.

Fig. 5.



Dieser Versuch lässt sich ganz objektiv machen, denn zeigt man ein solches genau gezeichnetes Kreuz beliebig vielen Personen, so wird unter denselben keine Einzige sein, die nicht die vertikale Linie für die grössere hielte. Eine gleiche Distanz erscheint uns sonach in der vertikalen Richtung grösser als in der horizontalen. Das Nämliche lässt sich sogar ohne jegliches Hülfsmittel direkt beobachten. Betrachten wir nämlich unser Sehfeld, ohne bestimmte Gegenstände in demselben in's Auge zu fassen, so sind wir geneigt dasselbe für ein Oval zu halten, dessen grösster Durchmesser nach oben geht, obgleich bekanntlich die Wirklichkeit dem entgegengesetzt ist; erst durch die Betrachtung der Gegenstände im Sehfeld corrigiren wir meist unser Urtheil.

Durch folgenden Versuch kann man nun die Unterschiede in der Bestimmung gleicher Distanzen von verschiedener Richtung genauer messen. Man zeichne auf ein Blatt Papier zwei Punkte, die in vertikaler Richtung senkrecht über einander gelegen sind, und halte das Papier in geringer Distanz vom Auge so, dass die Sehaxe, wenn einer der Punkte fixirt wird, gerade aus gerichtet ist; etwas unter oder über diesen Punkten halte man die Spitzen eines Cirkels mit ihnen in gleicher Linie. Man lässt nun die Sehaxe öfter nach einander zuerst die Entfernung beider Punkte und dann die Entfernung der Cirkelspitzen durchmessen, und dabei ändert man die letztere

so lange, bis beide Distanzen vollkommen gleich gross erscheinen. Legt man nun den Cirkel mit der ihm so gegebenen Oeffnung an die Punkte an, so wird man finden, dass die zwei Entfernungen entweder genau gleich sind oder nur um ein Minimum im einen oder andern Sinn differiren. Dreht man jetzt das Papier so, dass die beide Punkte verbindende Gerade gegen den Horizont sich neigt, während man die Cirkelspitzen in der vertikalen Richtung lässt, so ist die Entfernung, die man jetzt den Cirkelspitzen geben muss, immer eine kleinere als die wirkliche Entfernung der Punkte, und sie wird dies um so mehr, je weiter jene Gerade gegen den Horizont geneigt wird, bis sie endlich in dem Moment wo dieselbe horizontal liegt ein Minimum erreicht, so dass hier die in vertikaler Richtung geschätzte Entfernung um ein Bedeutendes kleiner ist als die in horizontaler Richtung gemessene. Wird das Papier noch weiter gesenkt, so dass die Gerade, welche die beiden Punkte verbindet, im entgegengesetzten Sinne gegen den Horizont sich neigt, so nimmt die Differenz der gemessenen und geschätzten Entfernung im selben Maasse wieder ab, als sie vorher zunahm, und sie wird gleich Null, sobald die Punkte wieder vertikal über einander stehen. Nehmen wir also die durch den untern Punkt gelegte Horizontale zur Abscissenlinie, so ist das Verhalten auf beiden Seiten der Abscissen ein symmetrisches. Ebenso ist dasselbe, wenn man die durch den gleichen Punkt gelegte Vertikale zur Ordinatenaxe nimmt, auf beiden Seiten der letztern vollkommen symmetrisch, wie man sich durch den Versuch leicht überzeugen kann: es ist gleichgültig, ob die beide Punkte verbindende Gerade nach oben oder unten, nach innen oder aussen geneigt ist, sobald nur der Neigungswinkel zum Horizont der gleiche bleibt.

Umgekehrt gestaltet sich der Versuch, wenn man die verschieden geneigten Entfernungen nicht in vertikaler sondern in horizontaler Richtung schätzt. Geben wir z. B. dem Papier eine solche Stellung, dass die zwei Punkte bei gerade aussehender Sehaxe in einer deren Verlängerung kreuzenden Horizontallinie liegen, während die Cirkelspitzen seitlich davon in derselben Linie aufgesetzt werden, so giebt man den letztern eine Entfernung, die der Distanz der Punkte fast genau gleich ist. Dreht man jetzt das Papier, während der Cirkel seine Lage beibehält, so wird die geschätzte Entfernung zu gross, und diese Differenz erreicht ihr Maximum, wenn die beiden Punkte vertikal so über einander liegen, dass ihre Verbindungslinie auf der Verbindungslinie der Cirkelspitzen senkrecht steht. Auch hier verhalten sich wieder die Ab-

weichungen auf den beiden Seiten der Abscissen- und Ordinatenaxe, wenn diese Axen in der obigen Weise gewählt werden, symmetrisch. — Um das Erörterte durch einige Zahlen zu belegen, führe ich folgendes Versuchsbeispiel an:

Entfernung der Punkte: 20 Mm.

Neigung zum Horizont. —	Horizontal geschätzte Entfernung.
0^0	20 Mm.
15^0	22 „
30^0	22,5 „
45^0	23,5 „
60^0	24 „
75^0	24,5 „
90^0	25,5 „

Ganz ähnlich verhält es sich, wenn man die Cirkelspitzen schräg aufsetzt: auch hier ist die geschätzte der gemessenen Entfernung nur dann vollkommen gleich, wenn beide dieselbe Neigung zum Horizont haben, macht die Verbindungslinie der Cirkelspitzen einen kleineren Winkel mit demselben als die Verbindungslinie der Punkte, so fällt die Schätzung zu gross aus, ist jener Winkel ein grösserer, so ist im Gegentheil die Schätzung zu klein.

Von der Thatsache, dass eine und dieselbe Entfernung grösser erscheint, wenn das Auge in vertikaler als wenn es in horizontaler Richtung sie überläuft, kann man sich auf's Einfachste auch durch die Betrachtung regelmässiger geometrischer Figuren überzeugen, und nur der Umstand, dass man mit dem Vorurtheil sie regelmässig zu sehen an die Betrachtung dieser Figuren herangeht, erklärt es, wie wir uns derartiger Unregelmässigkeiten, die unsere Wahrnehmung erst hinzuthut, gewöhnlich gar nicht bewusst werden. Kreise oder von andern krummen Linien eingeschlossene Flächen sind zur Beobachtung dieser Verhältnisse weniger geeignet, weil hier das Auge nicht diese Flächen nach verschiedenen Richtungen ausmisst, sondern gewöhnlich (und namentlich wenn keine Durchmesser gezogen sind) den begrenzenden Bogen folgt. Ein Quadrat erscheint dagegen nur dann vollkommen gleichseitig, wenn man es so vor das Auge hält, dass seine Seiten mit der horizontalen Visirebene einen Winkel von 45^0 bilden; giebt man den Seiten eine andere und darum von einander verschiedene Neigung, oder hält man die Figur aufrecht, so erscheint das Quadrat wie ein stehendes Rechteck. In einem gleichseitigen Dreieck erscheint, wenn man es in seiner gewöhnlichen Stellung vor's Auge hält, immer die Grundlinie

kleiner als eine der Seiten, und ein von der Spitze auf die Grundlinie gezogenes Perpendikel hält man, obgleich es in Wirklichkeit kleiner ist, meist für ebenso gross wie jene. In Polygonen endlich sehen immer die vertikaler verlaufenden Linien grösser aus als diejenigen, welche mehr der Horizontalen sich nähern. Manche andere geometrische Augentäuschungen liessen sich hier noch anreihen, wir wollen aber die Beispiele nicht weiter vervielfältigen, da sie alle nur einfache Anwendungen eines und desselben Gesetzes sind.

Dieses Gesetz sagt aus, dass die gleiche Entfernung von verschiedener Grösse erscheint, je nach ihrer Neigung zu der durch den Endpunkt der verlängert gedachten Sehaxe im Sehfeld gezogenen Horizontallinie, und zwar dass sie am grössten erscheint, wenn sie auf dieser senkrecht steht, am kleinsten, wenn sie in ihr selber gelegen ist. Hieran schliesst sich weiter die durch den Versuch direkt bestätigte Folgerung an, dass eine annähernd richtige Vergleichung zweier Entfernungen nur dann möglich ist, wenn beide die gleiche Neigung zu jener Horizontallinie haben, wobei es übrigens gleichgültig ist, ob sie nach Aussen oder Innen, nach Oben oder Unten von der gerade vorhandenen Stellung der Sehaxe gelegen sind.

Die letztere Folgerung ist nun für uns von besonderer Wichtigkeit. Sie beweist nämlich, dass die Bewegungen der Sehaxe und die Drehungen des Auges um dieselbe nicht, wie man von vornherein vielleicht glauben möchte, in einer Weise angeordnet sind, dass die von ihnen abhängigen Muskelgefühle immer ein proportionales Maass geben für die von der Sehaxe im Sehfeld zurückgelegten geradlinig gemessenen Entfernungen, sondern sie geben ein solches Maass nur, wenn diese Entfernungen in der gleichen oder einer symmetrischen Richtung liegen, und wenn demzufolge die Bewegungen des Auges in einem gleichen oder ähnlichen Sinne stattfinden.

Es frägt sich nun weiter, wie wir uns den Umstand zu erklären haben, dass wir eine und dieselbe Distanz für um so kleiner halten, je mehr die gerade Verbindungslinie ihrer Endpunkte sich der durch das Ende der Sehaxe im Sehfeld gelegten Horizontallinie nähert. Man könnte annehmen, dass jeder Bewegungsrichtung der Sehaxe ihre eigenen graduell verschiedenen Muskelgefühle zukämen, die ihrer besondern Qualität wegen nur unter sich, nicht aber mit den Muskelgefühlen irgend einer andern Bewegungsrichtung vergleichbar wären. Diese Annahme wird schon dadurch vollständig widerlegt, dass wir eben im Stande sind auch die Grösse von Entfernungen, die eine verschiedene Richtung haben, mit einander

zu vergleichen, und der Umstand, dass jene Grösse eine so regelmässige Abhängigkeit zeigt von dieser Richtung, muss uns schon darauf hinführen, den Grund dieser Verschiedenheiten nicht in qualitativen Abweichungen des Muskelgefühls sondern in quantitativen Verhältnissen der Bewegung zu suchen, abgesehen davon dass jene andere Annahme noch aus weiteren Gründen, die aufzuführen kaum nöthig sein dürfte, ganz unhaltbar ist. Bei einer Menge von Augenbewegungen sind jedenfalls die gleichen Muskeln wirksam, und schon ein Ueberwiegen der Wirkung des einen oder andern derselben vermag der Sehaxe eine neue Bewegungsrichtung zu geben; es wäre nun in der That schwer zu begreifen, wie damit sogleich ein gänzlich verschiedenes Muskelgefühl entstehen sollte, das in seinem intensiven Grad mit dem vorhergegangenen gar keine Vergleichung zuliesse, während, wenn die Wirkung der betheiligten Muskeln sich so ändert, dass die Sehaxe in der gleichen Bewegungsrichtung bleibt und nur der Umfang ihrer Bewegung sich vermehrt oder vermindert, eine solche Vergleichung möglich wäre. Alle von den Augenmuskeln herrührenden Empfindungen verschmelzen ja zu einer Totalempfindung, zu einem Bewegungsgefühl des Augapfels, das wir zunächst nur in seinen Graden vergleichen, eine Vergleichung, die von der Beurtheilung der Richtung der Gegenstände ganz unabhängig ist.

Wir werden somit zu der Auffassung hingedrängt, dass die Verschiedenheit in der Schätzung der Distanzen je nach der Bewegungsrichtung, zu der die Sehaxe dabei genöthigt ist, nur abhängt von intensiven Graden eines und desselben Muskelgefühls; wir können diese Thatsache allgemein so aussprechen: das Bewegungsgefühl des Auges zeigt graduelle Verschiedenheiten, erstens in allen Bewegungsrichtungen in Bezug auf den Umfang der Bewegung und zweitens in jeder einzelnen Bewegungsrichtung im Vergleich zu einer jeden andern; beide Verschiedenheiten sind jedoch derselben Art, so dass wir Entfernungen nach allen Richtungen hin messen und mit einander vergleichen können, dass aber Vergleichungen eine strengere Geltung immer nur für eine und dieselbe Richtung haben, während bei der Vergleichung verschiedener Richtungen das Muskelgefühl selber, auf das die Wahrnehmung sich stützt, uns zu falschen Schätzungen zwingt. —

Man könnte einen Grund hierfür zunächst darin suchen, dass die wirklichen Wege, welche die Sehaxe zurücklegt, um eine gleiche Distanz zu durchmessen, je nach der Richtung dieser verschieden sind. Gehen wir auf eine Vergleichung

in dieser Hinsicht näher ein, so zeigt sich, dass der Weg der Sehaxe in horizontaler Richtung ein Minimum ist, weil sie hier im Sehfeld geradlinig vorwärts geht; mit der Abweichung von dieser Richtung werden bis zu einem Winkel von 45^0 die Wege grösser, weil die Krümmung der durchlaufenen Bögen zunimmt; auch die Drehung um die Sehaxe scheint in ähnlicher Weise sich zu verändern. So weit verhält sich nun die Sache ganz wie vorauszusehen war: der umfangreicheren Bewegung entspricht auch eine intensivere Muskelempfindung. Anders wird dies, sobald die Neigung zum Horizont über 45^0 beträgt. Von hier an nehmen nämlich die von der Sehaxe beschriebenen Wege wieder allmälig ab, während die Muskelwirkungen, die zur Zurücklegung derselben aufgewendet werden, noch immer in Zunahme begriffen sind; endlich in der vertikalen Richtung selber wird der Weg der Sehaxe wieder ein Minimum, während hier das Maximum der Muskelarbeit vorhanden ist. Hieraus folgt, dass mindestens bei allen Bewegungsrichtungen, die zwischen 45 und 90^0 liegen, dem Muskelapparat des Auges zur Zurücklegung der gleichen Wegstrecke eine grössere Anstrengung zugemuthet wird als in einer mehr der horizontalen sich nähernden Richtung, und im Ganzen ist die Muskelwirkung am grössten bei der Bewegung der Sehaxe gerade nach Oben und Unten, am kleinsten bei der Bewegung gerade nach Aussen und Innen, während alle andern Richtungen zwischen beiden Grenzfällen in der Mitte stehen.

Dieses Resultat wird nun bestätigt durch die subjektive Beobachtung. Wenn wir unser Auge nach verschiedenen Richtungen bewegen, dabei übrigens die Sehaxe immer gleich grosse Wege durchlaufen lassen, und auf den Grad der Leichtigkeit merken, mit dem dies jedesmal geschieht, so beobachten wir, dass die Bewegung am ungezwungensten gerade nach Aussen und Innen erfolgt, dass anstrengender eine schräg geneigte Bewegung, am schwierigsten aber die Bewegung gerade nach Oben und Unten ist[1]. —

Wir haben in dem Bisherigen den Nachweis geführt, dass die Empfindungsqualitäten der Netzhaut und die Bewegungsempfindungen des Augapfels noch bei den Wahrnehmungen des ausgebildeten Gesichtssinnes von einem bestimmten Einflusse sind, und dies giebt uns eine direkte Bestätigung für

[1] Auch diejenigen Schlüsse, die sich aus der Anordnung der Augenmuskeln ergeben, und die sich durch die Rechnung genauer bestätigen lassen, stimmen hiermit überein. Ich verweise in dieser Beziehung auf meine demnächst ausführlicher zu veröffentlichenden Untersuchungen über die Bewegungen des Auges.

die früher bloss aus der Analogie mit dem Tastsinn, bei dem die Bildung der räumlichen Wahrnehmung noch nicht jenseits der Grenzen aller Beobachtung lag, geschöpfte Vermuthung, dass jene beiden Faktoren auch bei der Entstehung der Gesichtswahrnehmungen von wesentlich bedingendem Einflusse seien. Die Frage, die uns jetzt noch zu beantworten bleibt, ist die: wie wirken bei der Bildung der ersten räumlichen Anschauung Netzhaut- und Muskelempfindungen des Auges zusammen?

Gehen wir zu diesem Zweck nochmals zu den analogen Verhältnissen des Tastsinns zurück, so werden wir, um dieselben zu Schlüssen für den Gesichtssinn verwerthen zu können, nicht Versuche am Sehenden benützen dürfen, bei dem die Wahrnehmungen des Gesichtes allen andern vorausgehen, sondern wir müssen uns nach Verhältnissen umsehen, wo aus den Tastempfindungen an und für sich die Vorstellung einer äussern räumlich angeordneten Welt sich entwickelt. Dies ist allein der Fall beim Blindgeborenen. Der Blindgeborene kann nicht wie der Sehende sich durch sein Auge die Kenntniss des eigenen Leibes verschaffen, bevor er seinen Gefühlssinn zur Wahrnehmung äusserer Gegenstände verwendet, und dennoch geht auch bei ihm jene Kenntniss voraus. Er kann sie desshalb allein sich erwerben durch seine sich bewegenden und tastenden Glieder. Die Verschiedenheit in dem Grad der Muskelempfindungen, die in diesen entstehen, indem er die verschiedenen Punkte seiner Körperoberfläche berührt, giebt ihm Aufschluss über das Lageverhältniss der mit von einander verschiedenen Empfindungsqualitäten ausgestatteten Hautstellen. Sobald er diese Kenntniss aber besitzt wird es ihm wie dem Sehenden möglich, von Aussen stattfindende Eindrücke zu lokalisiren, räumlich von einander zu trennen und so sich eine Tastfläche zu schaffen, auf der die Gestalt der Objekte sich abbildet. Die Empfindung mit ihrer von der empfindenden Stelle des Tastorgans abhängenden qualitativen Verschiedenheit und die eigene Bewegung mit ihren durch ihren Umfang bedingten verschiedenen Abstufungen des Muskelgefühls sind so die beiden Elemente, aus denen die Seele des Blindgeborenen sich die räumliche Anschauung bildet. Auf ganz ähnliche Weise entstehen nun offenbar die ersten Gesichtswahrnehmungen des Sehenden, nur kommt bei ihnen noch die besondere Beziehung in Betracht, in welcher der Punkt des deutlichsten Sehens zu den Bewegungen des Auges steht.

Zwischen dem Punkt des deutlichsten Sehens und der Augenbewegung besteht eine ähnliche Art von Reflexmechanis-

mus wie zwischen der Deutlichkeit des Netzhautbildes und der Accomodation. Auch hier sind es die dominirenden Punkte und Linien im Sehfeld, die unsere Wahrnehmung leiten. Jeder von der sonst gleichmässigen Sehfeldfläche abstechende Punkt zwingt unser Auge die Sehaxe so einzustellen, dass das Bild des Punktes auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt; sind mehrere dominirende Punkte vorhanden, so wendet sich das Auge zunächst demjenigen zu, der den intensivsten Eindruck hervorruft, und dann den übrigen in der Reihenfolge ihrer deutlichen Wahrnehmbarkeit. Erst wenn der Wille erwacht ist, vermag dieser das Auge von jenem Zwang der Bewegung in einem gewissen Grad zu befreien. Dass aber auch dies dem Willen oft schwierig gelingt, wenn ihm seine Intention nicht durch ein Uebergehen auf andere dominirende Punkte erleichtert wird, davon überzeugt man sich leicht in stereoskopischen Versuchen. Bietet man z. B. jedem Auge eine vertikale Linie dar, so ist es kaum möglich, wenn beide Linien die geeignete Entfernung haben, das einfache Bild willkürlich in zwei zu trennen; es gelingt dies gewöhnlich nur, wenn man die Linien (deren jede man zu diesem Zweck auf ein besonderes Papier gezeichnet hat) etwas auseinander rückt, aber auch dann gelingt es nur so lange, als man das Auge mit grosser Anstrengung vollkommen unbeweglich hält, die geringste Bewegung macht die Doppelbilder alsbald wieder verschmelzen. Noch schöner ist der Versuch, wenn man mit dem einen Auge einen grössern, mit dem andern einen kleinern Kreis betrachtet, deren Unterschied übrigens hinreichend sein muss, damit er beim stereoskopischen Sehen nicht ignorirt wird. Hier sieht man niemals den kleinern etwa in der Mitte des grössern Kreises, sondern er liegt immer in der Weise excentrisch, dass seine Krümmung auf der einen oder andern Seite mit der des grössern Kreises zusammenfällt, durch Bewegungen des Auges gelingt es wohl zuweilen, ihn auf die entgegengesetzte Seite zu bringen, aber beide Kreise concentrisch zu sehen gelingt auch hier nur auf kurze Zeit bei geringem Auseinanderrücken der Figuren.

Die dominirenden Punkte, welche die Augenbewegungen leiten, bilden sich wahrscheinlich erst allmälig aus einem ursprünglich nur zwischen intensiveren Lichteindrücken und der Bewegung vorhandenen Zusammenhange hervor; die Empfänglichkeit für kleinere Reize muss das Auge sich erst an den grössern erwerben. Hierfür spricht nämlich, dass neugeborene Kinder bekanntlich alle Gegenstände im Sehfeld unbeachtet lassen, wenn nicht einer derselben durch sehr intensives Licht sich

auszeichnet. Dieser anfänglich so beschränkte Reflexzusammenhang macht es offenbar allein möglich, dass das Kind überhaupt zu einer geordneten Raumanschauung gelangen kann, denn wäre das Auge von Anfang an für alle Eindrücke von gleicher Empfänglichkeit, so würde es die unendliche Summe derselben niemals bewältigen können. Erst wenn das Auge an die stärkeren Eindrücke gewöhnt ist, geht es zu den schwächeren, die ihm nunmehr erst, da sie im Verhältniss zu jenen etwas Neues sind, einen Bewegungsreiz abgeben, in der Reihenfolge ihrer Abstufung über. So sind die räumlichen Gesichtsvorstellungen des Kindes Anfangs bloss örtliche Unterscheidungen von Licht und Dunkel, zu denen dann die übrigens noch lange sehr unvollkommene Unterscheidung der Farben hinzutritt, hierauf bilden sich oberflächliche Schemata der äussern Gegenstände, indem zunächst die gröberen Umrisse der Formen sich einprägen, und erst von diesen allgemeinen Vorstellungen aus geht der sich entwickelnde Sinn allmälig auf das Einzelne ein. Die Art und Weise, wie die Entstehung des Sehfeldes geschieht, lässt nun allein folgendermaassen sich denken. Gesetzt es bieten dem Auge zwei leuchtende Punkte in hinreichender Entfernung von einander sich dar, so werden diese Punkte, auch wenn die von ihnen herrührenden Eindrücke an und für sich, wie wir voraussetzen wollen, vollkommen sich gleichen, dennoch zwei verschiedene Empfindungen veranlassen, weil sie auf zwei Stellen der Netzhaut von verschiedenem Quale der Empfindungen sich abbilden. Damit ist jedoch noch durchaus keine räumliche Scheidung der beiden Eindrücke gegeben. Nehmen wir aber an, das Auge bewege sich aus dieser seiner ersten in eine zweite Lage, und in der letztern bilde der zweite Lichtpunkt genau auf der Netzhautstelle sich ab, auf welcher früher der erste sich befand, so wird nun auch die zweite Empfindung mit der ersten qualitativ identisch geworden sein, während diese selbst sich geändert hat. Indess aber das Auge aus der ersten in die zweite Lage überging, gab die hierbei stattfindende Muskelempfindung ein Maass des von demselben zurückgelegten Weges, also ein Maass für die Entfernung der beiden leuchtenden Punkte. Dieser Mechanismus, der ein rein zufälliger bliebe, wenn nicht ein bestimmter Zusammenhang zwischen der Stelle des deutlichsten Sehens und der Augenbewegung bestände, wird nun durch diesen Zusammenhang zu einem nothwendigen und geregelten. Indem wir den Punkt des deutlichsten Sehens successiv über eine Mehrheit leuchtender Punkte hinführen, geben uns die dabei stattfindenden Muskelempfindungen Auf-

schluss über die relative gegenseitige Entfernung derselben; nachdem wir das Einzelne percipirt haben, fassen wir seine Vielheit zu einem Ganzen zusammen und bilden so, den äussern Raum gewissermaassen aus seinen Elementen uns aufbauend, die Vorstellung der räumlichen Fläche.

Was bei dieser Entstehungsweise des Sehfeldes noch eine scheinbare Schwierigkeit macht, ist der Umstand, dass man von vornherein denken sollte, der Eindruck, der einmal durch seine überwiegende Intensität das Auge gefesselt hat, würde nie mehr verlassen werden, um einem minder intensiven sich zuzuwenden, denn an einen Einfluss des Willens ist natürlich in dieser Zeit noch nicht zu denken, es folgt die Bewegung einzig und allein dem Zwang des Reflexmechanismus, und es muss daher in diesem selber der Grund zu jenem scheinbar spontanen Wechsel in der Wahl der Eindrücke liegen. Ein solcher Grund findet sich nun in der That in der Abstumpfung der empfindenden Stelle mit der Dauer des Eindrucks. Diese bedingt es, dass nach Verfluss einer gewissen Zeit die Bewegungstendenz, die von einem ungleichartigen Eindrucke ausgeht, für den die Empfänglichkeit noch nicht geschwächt ist, über die ursprüngliche überwiegend wird, und so lässt es sich denken, dass ohne jegliche Veränderung der objektiven Eindrücke eine successive Perception mit dem Punkt des deutlichsten Sehens zu Stande kommt.

Sobald einmal hinreichend viele Eindrücke stattgefunden haben, dass jeder Punkt der Netzhaut nach dem besondern Quale seiner Empfindung bekannt und durch die ihm entsprechende Muskelempfindung in Bezug auf den Punkt des deutlichsten Sehens lokalisirt ist, ist die Entstehung des Sehfeldes vollendet, und es wird nun nicht mehr bei jeder einzelnen Wahrnehmung die ganze Summe von Processen wiederholt zu werden brauchen, die zur ersten Bildung räumlicher Wahrnehmungen nothwendig waren, es wird nicht mehr jedesmal eine successive Auffassung der einzelnen Eindrücke stattfinden, sondern es wird die ganze Wahrnehmung, wenn sie nicht allzu verwickelt ist, in einem Momente der Perception gegeben sein. Die Totalwahrnehmungen gehen allmälig aus der blossen Auffassung von Einzeleindrücken durch die fortgesetzte Verbindung derselben hervor, bis sie endlich im ausgebildeten Sehfeld jenen höchsten Grad der Vollendung erreicht haben, bei dem ein einziger Blick eine so grosse Summe von Wahrnehmungen zu liefern vermag, dass nur in verhältnissmässig langer Zeit die successive Reproduktion derselben der Einbildungskraft möglich wird.

Mit der Bildung des Sehfeldes hat der sich entwickelnde Mensch den Objekten, die dieses Feld ihm darbietet, nur eine relative Lage und Entfernung angewiesen; damit ist aber die Gesichtswahrnehmung in der Fläche noch nicht vollendet, denn von der Lage, welche die Objekte im Verhältniss zum eigenen Körper einnehmen, giebt die bloss relative Lokalisirung derselben noch gar keine Vorstellung. Bei der Erklärung dieser letzten Orientirung des ganzen Sehfeldes fand man meistens eine Schwierigkeit darin, dass die Lage des Netzhautbildes bekanntlich die umgekehrte von derjenigen ist, in welcher wir die Gegenstände wirklich sehen, und man hat, um zu beweisen dass diese Wirklichkeit möglich sei, zu mannichfaltigen, zum Theil sehr sonderbaren Erklärungsversuchen seine Zuflucht genommen. Den Bedenken, welche die Thatsache des Verkehrtsehens erregte, konnte eine gewisse Berechtigung nicht abgesprochen werden, so lange man an der Meinung festhielt, dass mit der räumlichen Anordnung der Netzhautelemente auch die Auffassung der Eindrücke in räumlicher Form schon gegeben sei. Da aber jene Meinung sich als unhaltbar herausgestellt hat, so verliert die besondere Lage des Netzhautbildes in dieser Hinsicht jede Bedeutung, und es wird lediglich darauf ankommen, welche Anhaltspunkte die Vorstellung hat, um den Objekten diejenige Lage zu geben, die wir mit Bezug auf unsern eigenen Körper denselben zuschreiben. Derartige Anhaltspunkte werden nun vor Allem gegeben durch die Tastempfindungen. Das Kind beginnt die Gegenstände zu lokalisiren, indem es Tast- und Gesichtssinn zugleich zu seiner Orientirung verwendet, und diejenige Lage, die es den einzelnen Punkten eines Gegenstandes durch seine Tasterfahrungen zu geben genöthigt wird, ist maassgebend für seine Gesichtswahrnehmungen. Der Tastsinn selber liefert uns aber nicht durch die blosse Hautempfindung Aufschluss über das Lageverhältniss der Objekte, sondern es bedarf hierzu noch wesentlich der Bewegung unserer tastenden Glieder, erst indem wir mit diesen an den Objekten entlang gehen, erhalten wir Aufschluss über die Lage, in der sich die Objekte zu unsern Tastorganen und damit zum ganzen Körper befinden. Ein Erforderniss zur Möglichkeit einer geordneten Raumanschauung ist desshalb, dass alle unsere Tastbewegungen in übereinstimmendem Sinne erfolgen, ein Erforderniss, das übrigens schon aus andern Gründen an unsern Körpermuskeln nothwendig realisirt sein muss. Aber auch die Bewegungen unseres Auges können wir als Tastbewegungen bezeichnen, denn wir haben uns ja überzeugt, dass diese Bewegungen für den Gesichtssinn

dieselbe Bedeutung haben wie die Bewegungen der tastenden Glieder für den Gefühlssinn, wir werden also auch die Anforderung stellen müssen, dass die Augenbewegungen in einem mit den übrigen Bewegungen übereinstimmenden Sinne von statten gehn. Gesetzt also, wir hätten einen Gegenstand vor uns, an dem wir mit der Hand tastend von unten nach oben emporgehen, während wir zugleich unser Auge so drehen, dass es den Gegenstand von unten nach oben fixirend verfolgt, so werden, obgleich und sogar weil das Retinabild eine verkehrte Lage hat, beide Bewegungen im gleichen Sinne erfolgen. Wenn also für die Lage des Netzhautbildes gar kein anderer Grund existirte als die Bewegungen des Auges, so dürfte es schon wegen dieser keine andere haben; aber dieser Grund selbst hängt wieder so sehr mit allen übrigen anatomischen und physiologischen Verhältnissen unseres Gesichtssinnes zusammen, dass Verkehrtsein des Netzhautbildes und Aufrechtsehen nur als eine nothwendige Folge unserer ganzen Organisation zu betrachten sind. —

Wir können am Schlusse dieses Abschnittes nicht umhin, noch eines Zweifels Erwähnung zu thun, der gegen die Herleitung aller unserer räumlichen Gesichtswahrnehmungen aus einer Reihenfolge unbewusster Schlüsse leicht sich erheben kann, obgleich wir ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand einem späteren Orte vorbehalten müssen. Man kann nämlich sagen: bei dieser psychologischen Herleitung der Wahrnehmungen werden der sich entwickelnden Seele schon so vielfache und verwickelte Schlüsse zugemuthet, dass sich schwer begreifen lässt, wie sie dazu in so früher Zeit schon befähigt sein sollte; warum geschehen überdies die Wahrnehmungen mit so grosser Sicherheit und bei allen Menschen mit so grosser Gleichmässigkeit, während uns die alltägliche Erfahrung sagt, dass Schlüsse, deren logische Verwicklung nicht einmal so gross ist, sehr oft Fehlschlüsse sind, und dass die Menschen in ihren Schlussfolgerungen keineswegs durch eine grosse Einmüthigkeit gewöhnlich sich auszeichnen? Diese Bedenken wären allein gegründet, wenn wir die psychischen Akte, aus denen die Wahrnehmung sich bildet, als bewusste Handlungen betrachten würden. Dass sie dies nicht sind geht schon daraus hervor, dass wir von dem Wesen jener Akte keineswegs eine unmittelbare Gewissheit haben, sondern erst aus verschiedenen abgeleiteten Verhältnissen auf dasselbe folgern können. Erst in's bewusste Leben übersetzt nimmt der psychische Process der Wahrnehmung die Form des Schlusses an. Was aber den unbewussten Schluss allein möglich macht,

ist die Gleichmässigkeit und die grosse Häufigkeit, mit welcher die einzelnen Glieder desselben sich wiederholen; wir werden in jedem Augenblick zu einer Menge unbewusster Schlüsse gezwungen, und dieser Zwang der äussern Wahrnehmung ist es zugleich, der dieselbe zu einer Sicherheit erhebt, wie sie die bewusste Reflexion niemals liefern kann.

5. Ueber den Einfluss der Augenbewegungen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung.

Wir haben gesehen, dass die Genauigkeit unseres Gesichtssinnes in der Auffassung räumlicher Entfernungen nicht bloss in der Empfindungsschärfe desselben eine natürliche Grenze findet, sondern dass selbst noch besondere Verhältnisse im Bewegungsapparat des Auges in jene Auffassung unvermeidliche Fehler bringen, die noch weit diesseits dieser Grenze gelegen sind. Davon dass wir streng genommen nur die Distanz solcher Punkte vergleichen dürften, deren Verbindungslinie eine und dieselbe Neigung zum Horizont besitzt, wissen wir a priori natürlich gar nichts, und wir vergleichen daher Entfernungen aller möglichen Richtungen, ohne dass es uns jemals einfiele an unserm Urtheil die nöthige Correktur anzubringen. Nichts desto weniger entspringen aus diesem Umstand nicht die Fehler, die man erwarten sollte; der Grund hierfür liegt darin, dass alle unsere räumlichen Messungen von der Abschätzung der Tiefendimension ausgehen, und dass bei dieser eine zwingende Gewohnheit uns veranlasst, einer einzigen Bewegungsrichtung der Sehaxe vor allen andern den Vorzug zu geben; diese Bewegungsrichtung ist diejenige, bei welcher die gerade nach vorn gerichtete Sehaxe in der durch sie gelegten Vertikalebene bleibt.

Die Ursache dieser Gewohnheit müssen wir offenbar darin finden, dass wir überhaupt stets diejenige Ausdehnung des Raumes, welche jener Bewegungsrichtung der Sehaxe entspricht, nicht nur als Längen- sondern zugleich als Tiefendimension, die auf ihr senkrechte dagegen als Breitendimension auffassen. Der Grund für diese Auffassung aber ist, dass jene besondere Bewegungsrichtung der Sehaxe zugleich die Bewegungsrichtung unseres ganzen Körpers ist, wenn wir nach der Tiefe des Raumes uns fortbewegen. Beides hängt zusammen mit den Verhältnissen der Muskelanordnung und Muskelwirkung, vermöge welcher die entsprechenden Bewegungen sich vorzugsweise zu kombiniren pflegen.

Nach dieser vorläufigen Feststellung wollen wir die Frage zu beantworten suchen: in welcher Weise und in welchem Um-

fange wirkt die Bewegung des Auges beim Zustandekommen unserer räumlichen Tiefenwahrnehmung?

Was zunächst den Umfang betrifft, in dem wir räumliche Entfernungen nach der dritten Dimension des Raumes abschätzen, so ist aus den einfachsten Beobachtungen klar, dass hierin die Bewegung unseres Auges, ähnlich nur nicht ganz in gleichem Maasse wie die Accomodation, durch grössere Entfernungen eine Beschränkung erleidet. Alle sehr fern befindlichen Gegenstände scheinen uns in einer und derselben Fläche zu liegen, unser Auge vermag daher auch nur noch durch seine Bewegungen die Distanzen dieser Gegenstände in ihrer Projektion auf die Sehfeldfläche zu messen, und das Einzige, was uns hier bisweilen noch zu einer Schätzung der relativen Entfernung der Objekte befähigt, ist das aus dem Sehwinkel, unter dem sie erscheinen, entnommene Urtheil. Diese Beschränkung hat ihren Grund in dem Umfang unserer Augenbewegungen. In sehr grosser Nähe ist uns schon eine äusserst kleine Distanz wahrnehmbar, und es ist eine merkliche Bewegung der Sehaxe erforderlich, um sie zu durchmessen, je mehr die Entfernung wächst, um so grösser wird die Distanz, die zu ihrer Durchmessung eine gleiche Bewegung nöthig macht, und schliesslich wird dieselbe unendlich gross.

Doch ist abgesehen hiervon schon in der Art und Weise, wie die Augenbewegungen zu Entfernungsschätzungen verwendet werden, eine Beschränkung dieses Hülfsmittels gegeben. Die Beobachtung zeigt nämlich, dass wir, um die Distanz von Objekten bestimmen zu können, wenn dieselbe nicht durch ein auf ihre scheinbare Grösse gegründetes Urtheil schon bekannt ist, immer auf folgende Weise verfahren. Wir nehmen unsern eigenen Standpunkt, den wir zuerst fixiren, zum Ausgangspunkt, und von diesem aus bewegen wir unsere Sehaxe so vorwärts, dass ihr auf der Ebene des Sehfeldes gedachter Endpunkt eine gerade Linie beschreibt, die von unserm Standpunkt anfängt und an dem Fusspunkte des Objektes, dessen Entfernung bestimmt werden soll, aufhört, dieser ist der zuletzt fixirte Punkt. Dabei bleibt beim Sehen mit einem Auge zugleich die Sehaxe während ihrer ganzen Bewegung in einer Ebene, die der durch die Körperaxe gelegten Vertikalebene parallel ist. Aus dem Umfang der Bewegung, der zu der successiven Fixation der beiden Punkte nothwendig ist, wird auf ihre geradlinig gemessene Entfernung geschlossen. Zunächst ist dieser Schluss bloss ein relativer: der grösseren Bewegung entspricht die grössere, der kleineren die kleinere Entfernung. — Wollen wir nun die relative Entfernung von

Punkten schätzen, die nicht in einer und derselben Richtung liegen, so zeigt die Beobachtung, dass wir hierbei nur dann unsern Standpunkt nicht verändern, wenn der Gesichtswinkel, welcher den Richtungsunterschied beider Punkte auf uns selber bezogen ausdrückt, ein sehr kleiner ist, und zwar verfahren wir dann so, als wenn beide Punkte in einer und derselben Linie lägen, wir vollführen nämlich nicht zwei von uns ausgehende Bewegungen der Sehaxe nach einander, sondern wir fixiren im Verlauf einer Bewegung die hinter einander liegenden Punkte in der Reihenfolge ihrer Entfernung, von sehr kleinen Richtungsunterschieden abstrahiren wir also gewissermassen gänzlich. Sobald der Richtungsunterschied verschiedener Punkte grösser ist, können wir uns aber nicht mehr auf eine Bewegung beschränken, sondern wir müssen mit unserm Auge alle geraden Linien durchlaufen, die wir von uns aus nach jedem einzelnen Punkt gezogen denken. Um dies zu können, ist es nothwendig, dass wir das Auge um unsere Körperaxe drehen, was entweder durch die blosse Bewegung des Kopfes oder durch eine Bewegung des ganzen Körpers geschieht, je nach dem Umfang der Drehung, die gerade nöthig ist, um die Sehaxe in die Richtung der von unserm Standpunkt aus nach dem entfernten Punkt gezogenen Geraden zu bringen.

Die Bewegungen, welche die Sehaxe bei der Durchmessung der Entfernungen zu machen hat, geschehen nicht bloss durch die Wirkungen der Augenmuskeln, d. h. die Drehungen des Auges für sich, sondern es bewegt sich ja auch das Auge und mit ihm die Sehaxe bei den Drehungen des ganzen Kopfes, und diese Bewegungen des Kopfes unterstützen die Bewegungen des Augapfels, um der Sehaxe einen Umfang der Lageänderung möglich zu machen, den sie durch die letztern allein niemals erreichen würde. Die Bewegungen des Kopfes geschehen um eine vertikale, eine horizontale und eine hierauf senkrechte von vorn nach hinten gerichtete Drehungsaxe, davon ist es die horizontale Axe, um welche diejenigen Bewegungen geschehen, die zur Unterstützung der vorhin erörterten Augenbewegungen in Anwendung kommen. Die Bewegung des Kopfes für sich genügt schon, um der Sehaxe die ganze Bewegung, die sie machen muss, zu ertheilen; von individuellen Verhältnissen hängt es dann noch ab, ob das Auge selber mehr oder weniger zur Mithülfe herbeigezogen wird. Das einzige in dieser Hinsicht Constante ist, dass die Beschreibung des Theils des ganzen vom Endpunkt der Sehaxe zu durchlaufenden Weges, der sich in der Nähe unseres Stand-

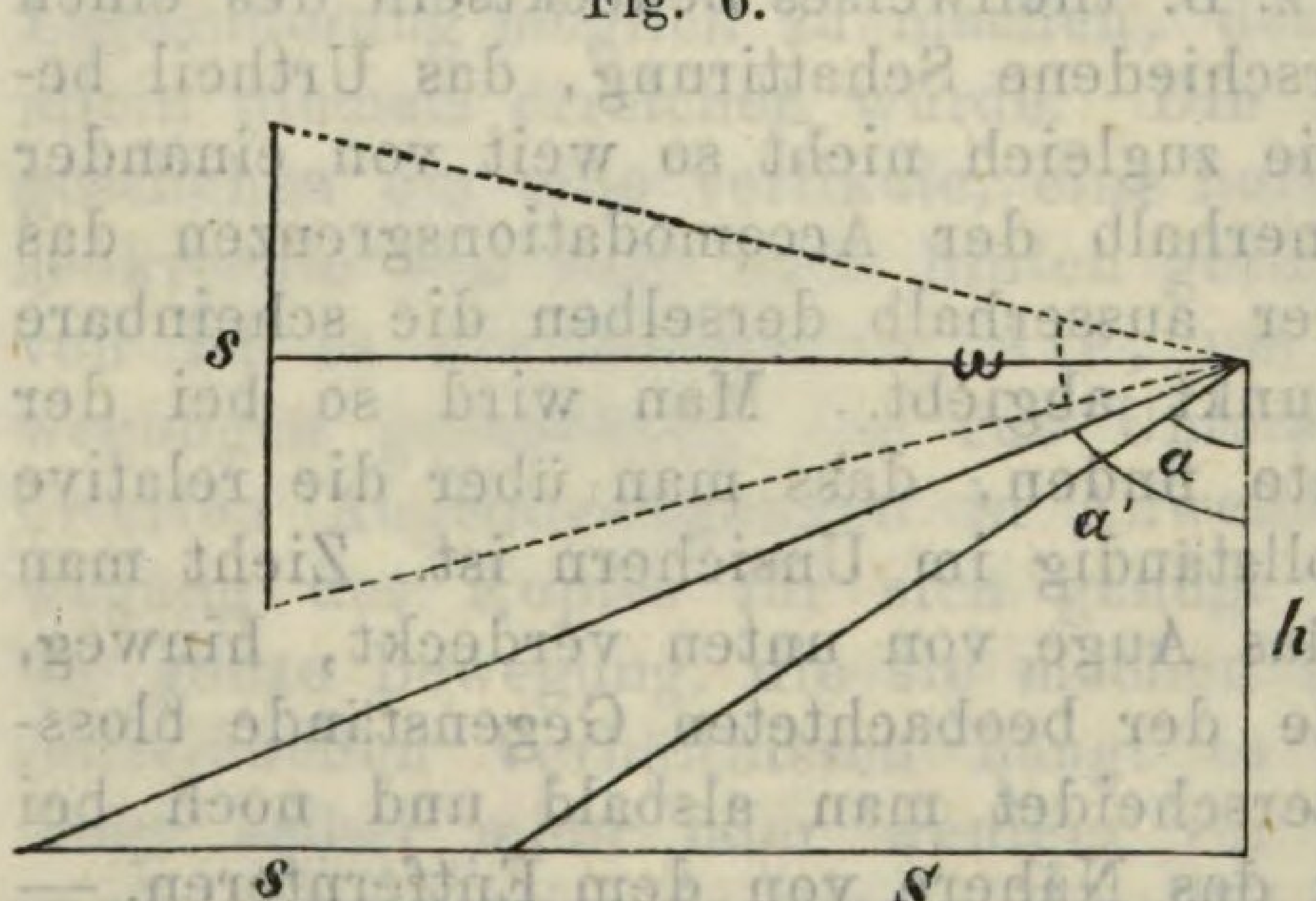
punktes befindet, vorzugsweise auf Rechnung der Drehung des Kopfes kömmt, ja in sehr grosse Nähe vermag das Auge allein den Fixationspunkt gar nicht zu führen; der Theil des Weges, der dem entfernten Punkt näher ist, wird hingegen vorzugsweise durch die Bewegungen des Auges zurückgelegt, und es fordert einen besondern Zwang, wenn man auch ihn der alleinigen Bewegung des Kopfes zumuthen will. — Der Schluss, auf den hiernach das Urtheil über die relative Entfernung der Gegenstände sich stützt, ist kein einfacher, er ist nicht bloss entnommen aus dem Bewegungsgefühl des Augapfels, sondern zugleich aus dem Bewegungsgefühl des Kopfes; beide Bewegungen wirken aber nicht in unveränderlicher Weise zusammen, sondern bald überwiegt die eine bald die andere, es kann somit auch jener Schluss nicht aus der aus beiden Muskelgefühlen zusammengesetzten Totalempfindung gezogen, sondern es muss für denselben jede einzelne von ihnen in Rechnung gebracht werden. Dass dies sich so verhält geht überdies daraus hervor, dass wir im Bewusstsein jede einzelne jener Bewegungen von einander zu trennen vermögen: wir wissen, ob wir gleichzeitig das Auge und den Kopf drehen, und haben eine Vorstellung davon, in welchem Umfang diese Drehung geschieht.

Von der Thatsache, dass das Urtheil über die relative Entfernung der Gegenstände beim Sehen mit einem Auge vorzugsweise auf den mit der Sehaxe zwischen ihren Fusspunkten zurückgelegten Weg gegründet ist, kann man sich durch folgenden einfachen Versuch überzeugen. Man schliesse das eine Auge und bedecke das andere von unten theilweise, so dass bis in einige Ferne nichts vom Boden zu sehen ist. Nun wähle man sich zwei Objekte zur Vergleichung aus, bei denen keinerlei accessorische Momente, z. B. theilweises Bedecktsein des einen durch das andere, verschiedene Schattirung, das Urtheil bestimmen können, und die zugleich nicht so weit von einander entfernt sind, dass innerhalb der Accomodationsgrenzen das Accomodationsgefühl oder ausserhalb derselben die scheinbare Grösse einen Anhaltspunkt abgiebt. Man wird so bei der Wahl geeigneter Objekte finden, dass man über die relative Entfernung derselben vollständig im Unsichern ist. Zieht man nun den Schirm, der das Auge von unten verdeckt, hinweg, so dass die Fusspunkte der beobachteten Gegenstände blossgelegt werden, so unterscheidet man alsbald und noch bei sehr geringen Distanzen das Nähere von dem Entfernteren. — In dieser Abhängigkeit von dem Blossliegen der Fusspunkte der Gegenstände liegt nun aber offenbar wieder eine be-

deutende Beschränkung. Hierdurch werden nämlich unsere Entfernungsbestimmungen ganz und gar abhängig von dem Terrain, auf dem wir uns befinden. Nun ist aber dieses nirgends von solcher Beschaffenheit, dass nicht die Gegenstände sich theilweise verdecken, so dass die Fusspunkte aller Objekte, deren Entfernung eine gewisse von der Beschaffenheit des Terrains abhängige Grösse überschreitet, uns unsichtbar sind.

Man sollte hiernach erwarten, dass diese Beschaffenheit des Terrains einen Hauptfaktor bei unsern Entfernungsschätzungen abgeben müsse. Nichts desto weniger ist dies gewöhnlich durchaus nicht der Fall, und zwar desshalb, weil wir schon durch eine andere Ursache auf eine gewisse ziemlich enge Grenze der Entfernungen eingeschränkt sind, auf eine Grenze, innerhalb deren die von der Beschaffenheit des Terrains abhängigen Verhältnisse meistens gar nicht mehr in Betracht kommen. Diese Ursache liegt darin, dass die Grösse des Weges, welche eine merkliche Bewegung des Auges zu ihrer Zurücklegung erfordert, mit wachsender Entfernung immer mehr zunimmt. Hierdurch geschieht es, dass zwei Objekte, die um eine Tiefendistanz von einander entfernt sind, welche in grösserer Nähe sehr leicht bemerkt würde, in grösserer Ferne wie in einer und derselben Ebene liegend erscheinen. Während bei dem flächenhaften Sehen der Gesichtswinkel, welcher einer bestimmten linearen Distanz entspricht, einfach proportional der Entfernung abnimmt, geschieht diese Abnahme viel rascher beim Sehen von Tiefendistanzen. Auch hier wollen wir denjenigen Winkel, welchen die Sehaxe zu durchlaufen hat, um vom einen Endpunkt der zu messenden Distanz zum andern zu gelangen, als Gesichtswinkel bezeichnen. Dieser Winkel, den wir ω' nennen wollen, ist, wenn s in Fig. 6 jene Distanz ist, offenbar $= \alpha' - \alpha$, d. h. gleich dem Unterschied der successiven Visirwinkel, wobei wir unter Visirwinkel denjenigen Winkel verstehen, welchen die jedesmalige Richtung der Sehaxe mit der vertikalen Körperaxe einschliesst. Der Winkel ω' ist nun, wie schon die blosse Anschauung der Figur lehrt, nicht bloss von der Entfernung S des nächsten Punktes und

Fig. 6.



von der Distanz s, sondern zugleich von der Höhe h des Endpunktes der Sehaxe über der Ebene des Bodens abhängig, und zwar nimmt ω' viel rascher ab als S zunimmt, so dass das Verhältniss $\frac{\omega}{\omega'}$ (wenn ω den Gesichtswinkel bedeutet, welcher der Entfernung $S + \frac{3}{2}$ bei flächenhaftem Sehen entspricht) von einer Grenze der Gleichheit an immer schneller wächst, und in nicht sehr grosser Ferne wird schon ω' im Vergleich zu ω verschwindend klein. — Zur näheren Berechnung von ω' bieten sich die Gleichungen

$$\text{tgt. } \alpha = \frac{S}{h},$$

$$\text{tgt. } \alpha' = \frac{S + s}{h},$$

aus denen, wenn s und h bekannt sind, die Abhängigkeit des Winkels ω' von der Entfernung S sich bestimmen lässt.

Setzt man für s und h bestimmte Grössen, und berechnet man die correspondirenden Werthe von ω und ω', welche sich ergeben, wenn man S gleichmässig wachsen lässt, so findet man, dass der Quotient $\frac{\omega}{\omega'}$ immer mehr zunimmt. Setzt man z. B. s und h beide $= 1$, so wird derselbe für $S = 1$ gefunden $= 2$, für $S = 5$ ist $\frac{\omega}{\omega'} = 5{,}6$, für $S = 10$ ist $\frac{\omega}{\omega'} = 10{,}5$, und für $S = 100$ ist $\frac{\omega}{\omega'} = 100$. Hieraus lässt sich leicht ersehen, wie schnell der Winkel ω' mit wachsender Entfernung abnimmt.

Die Erkennung einer Tiefendistanz ist somit ganz und gar abhängig von der Weglänge, die zwischen ihr und unserm Standpunkte liegt, und ebenso müssen wir diese in Rechnung ziehen, wenn wir über die Grösse jener urtheilen wollen: bei allen quantitativen Urtheilen gehen wir von uns aus und nehmen uns selber zum Maassstabe. Trotz dieser Gebundenheit an unsern eigenen Standpunkt ist es aber nicht gerade nothwendig, dass wir jedesmal, wenn wir über eine Entfernung urtheilen wollen, den ganzen Process wiederholen, auf den sich dieses Urtheil gründet, sondern wir vermögen Manches aus frühern Erfahrungen leicht zu ergänzen. Namentlich unterlassen wir es häufig, wenn wir die Entfernung, in der ein Objekt sich von uns selber befindet, schätzen wollen, zu

diesem Zweck mittelst der Bewegung unseres Auges den ganzen zwischenliegenden Weg zurückzulegen, sondern es giebt uns hier schon die relative Grösse des Visirwinkels, von der wir ein ungefähres Bewusstsein haben, ein annäherndes Maass ab; und ebenso können wir aus der Verschiedenheit successiver Visirwinkel über grössere oder kleinere Entfernungen urtheilen. Derartige Schätzungen erreichen aber niemals den Grad der Genauigkeit, den wir zu erzielen im Stande sind, wenn wir das ganze ungekürzte Verfahren in Anwendung bringen. Davon überzeugt man sich leicht, wenn man eine und dieselbe Entfernung zuerst bloss mit Hülfe des Visirwinkels und dann mit Hülfe der Bewegung der Sehaxe abschätzt; man wird dabei finden, dass die erstere Schätzung immer viel kleiner als die letztere ausfällt, wo es uns daher auf eine grössere Genauigkeit ankommt, pflegen wir stets zu dieser unsere Zuflucht zu nehmen. Ueberhaupt ist uns mit alleiniger Hülfe des Visirwinkels immer nur eine relative Schätzung möglich: bei grösserem Visirwinkel urtheilen wir, dass ein Objekt ferner, bei kleinerem, dass es näher sei, über eine absolute Entfernung können wir aber dabei gar nichts bestimmen.

Von der Art und Weise wie der Visirwinkel das Urtheil leitet kann man sich durch folgenden einfachen Versuch überzeugen. Am Fusse einer vertikalen Leiter stehend fixire man einen markirten Punkt des Bodens, der nicht allzu entfernt ist; steigt man jetzt an der Leiter empor, während man den Punkt fortwährend fixirt hält, so scheint dieser in dem Maasse sich zu nähern, als man höher steigt, und beim Herabsteigen entfernt er sich wieder; während dieser auf- und absteigenden Bewegungen hat sich aber offenbar in gleicher Weise der Visirwinkel geändert, denn, wenn wir denselben wieder mit α und die Höhe des Auges über dem Boden mit h bezeichnen, so ist die constant bleibende Entfernung des fixirten Punktes $=$ h. tgt. α. Uebrigens ist die Thatsache, dass ein entfernter Punkt uns um so näher scheint, je höher wir uns befinden, schon der alltäglichen Erfahrung geläufig und wird nur gewöhnlich nicht sehr beachtet. Jeder hat schon erfahren, dass ein entfernter Gegenstand in einer ausgedehnten Ebene, der ihm sehr weit zu sein schien, als er ihn von dem Fuss eines Berges oder Thurmes aus betrachtete, ihm plötzlich viel näher gerückt vorkam, nachdem er die Spitze erstiegen hatte. Bei Gegenständen, die so nahe sind, dass die erstiegene Höhe dagegen in Betracht kommt, wird dies allerdings zum Theil auch veranlasst durch die Verkleinerung des Gesichtswinkels,

unter dem die von dem Gegenstand zum Fuss des Berges oder Thurmes geradlinig gemessene Entfernung erscheint; aber man bemerkt jenes scheinbare Näherrücken auch dann, wenn man auf die scheinbare Distanz des Punktes vom Fuss der erstiegenen Höhe gar nicht achtet oder nicht wohl achten kann, weil die Entfernung zu gross ist. Vollends ist in unserm oben angeführten Versuch ein derartiger Einfluss des Gesichtswinkels ganz und gar ausgeschlossen.

Bloss vermittelst jener Bewegungen der Sehaxe, bei welchen ihr im Sehfeld gedachtes Ende vom Fusspunkt des einen zu dem des andern Gegenstandes continuirlich übergeht, vermögen wir zu einem Urtheil über absolute Entfernungen zu gelangen; und auch hier ist dieses nur dann möglich, wenn der erste Punkt, von dem wir ausgehen, unser eigener Standpunkt ist. Dies geht daraus hervor, dass der Visirwinkel für sich immer nur zu relativen Messungen befähigt; gehen wir daher auch continuirlich von einem Visirwinkel zum andern über, so fehlt es uns an einem Maass, das wir an die so durchmessene Entfernung anlegen, da uns die Entfernung des Punktes, von dem wir ausgingen, unbekannt ist. — Die Thatsache, dass eine derartige immer von uns selber ausgehende Bewegung der Sehaxe zu absoluten Bestimmungen nothwendig ist, wird theils durch die unmittelbare Beobachtung erwiesen, theils lässt sie sich durch folgenden Versuch zur Anschauung bringen. Man schliesse das eine Auge und verdecke das andere von unten so weit mit einem Schirm, dass man gerade noch den Fusspunkt eines in einiger Entfernung befindlichen Gegenstandes zu fixiren vermag; man nehme überdies einen Maassstab zur Hand, um in dessen Längeneinheiten die Entfernung des Gegenstandes abschätzen zu können. Man wird finden, dass hierbei jede Schätzung entweder ganz unmöglich oder doch sehr unsicher und schwankend ist, und entschliesst man sich wirklich zu derselben, so fällt sie unfehlbar falsch aus, auch wenn der Gegenstand sich in grosser Nähe befindet, und zwar ist sie regelmässig im Vergleich zur wahren Entfernung zu klein. Zieht man jetzt den Schirm weg und lässt das Auge vom eigenen Standpunkt sich bis zum Fusspunkte hinbewegen, so ist alsbald eine Schätzung mit grosser Sicherheit möglich, und diese fällt, wenn sich der Gegenstand nicht in allzu grosser Ferne befindet, äusserst genau aus. Hat man nicht gerade einen Maassstab zur Hand, dessen Einheiten man der Messung zu Grunde legt, so liegt es natürlich am nächsten, diese Einheiten von Theilen unseres eigenen Körpers zu entnehmen, und dies ist in der That bei unsern

immer sich wiederholenden Schätzungen nach dem Augenmaass das ganz Gewöhnliche. Hierin liegt offenbar der erste Ursprung jedes Längenmaasses, hierin der Grund, dass dasselbe anfänglich immer von Theilen unseres eigenen Körpers entnommen ist, ja selbst der speciellere Grund, dass gerade der Fuss fast allen natürlichen Längenmaassen zur Einheit gedient hat, denn unser Fuss ist ja der Punkt, von dem unser Auge bei allen Bewegungen ausgehen muss, die es zur Bestimmung absoluter Entfernungen macht.

Unsern absoluten Entfernungsmessungen ist in Bezug auf ihren Umfang durch die Art wie sie zu Stande kommen eine noch viel engere Grenze gesetzt als unsern relativen Bestimmungen. Während nämlich bei diesen nur die Unterscheidungsgrenze näherer und weiterer Objekte mit wachsender Entfernung sehr schnell an Feinheit abnimmt, werden absolute Messungen, sobald die Entfernung des Gegenstandes eine gewisse ziemlich enge Grenze überschreitet, falsch und bald ganz unmöglich. Da der Gesichtswinkel, welcher der gleichen Tiefendistanz entspricht, mit dem Fernerrücken derselben sehr schnell abnimmt, so sollte man streng genommen sogar erwarten, dass nur etwa in allernächstem Umkreis eine richtige Entfernungsbestimmung möglich sei. Nichts desto weniger ist diese bei weitem nicht in dem Grade beschränkt, als man a priori vermuthen sollte, und es ist offenbar, dass wir hierbei die Abnahme des Gesichtswinkels mit wachsender Entfernung bis zu einem gewissen Grade in Rechnung zu bringen im Stande sind. So können wir noch auf einige Meter im Umkreis Distanzen bis auf wenige Centimeter genau schätzen (wobei die Abweichungen nach der einen oder andern Seite liegen können). Wird dieser Umkreis aber überschritten, so schätzt man die Distanz kleiner als sie wirklich ist, und dies nimmt bei grösseren Entfernungen immer mehr zu, so dass ja, wie aus der alltäglichen Erfahrung schon bekannt ist, ein Meilen weit entfernter Gegenstand uns oft mit wenigen Schritten erreichbar zu sein scheint.

Nicht nur die relative Schätzung einer Distanz aus dem Visirwinkel, sondern auch die absolute aus der Bewegung des Auges ist abhängig von der Höhe desselben über der Ebene des Bodens, aber diese Abhängigkeit ist hier von geringerer Bedeutung, und sie macht sich überdies nur bei nahe gelegenen Punkten als eine Verringerung der absoluten Messung geltend, während für ferner gelegene Punkte die Unterscheidungsgrenze der Tiefendistanz an Feinheit zunimmt. Wenn wir uns über die Bodenfläche erheben, so nimmt zuerst der

Gesichtswinkel einer zunächst an unserm Standpunkt befindlichen Distanz an Grösse ab, während der Gesichtswinkel der gleichen Tiefendistanz in grösserer Ferne an Grösse zunimmt; es muss somit für jede Höhendifferenz eine bestimmte Grenze der Entfernung geben, für welche der Gesichtswinkel der gleiche geblieben ist, während er diesseits dieser Grenze ab- und jenseits derselben zugenommen hat. Diese Grenze liegt offenbar in derjenigen Entfernung, für welche der Quotient $\frac{\omega}{\omega'} = 1$ wird, sie rückt daher, wenn man h grösser und grösser nimmt, in immer grössere Ferne. Da dieselbe übrigens nur von unendlich kleiner Ausdehnung ist, so gelingt es natürlich nicht die Thatsache an einer reellen Tiefendistanz in aller Strenge nachzuweisen, auch treten in grössern Entfernungen die Unregelmässigkeiten des Terrains störend entgegen, dagegen kann man beim Ersteigen einer geringern Höhe, z. B. einer Leiter, wo jene Grenze in grösserer Nähe liegt, leicht einen Punkt finden, wo einer gegebenen Distanz vor und nach dem Ersteigen der Höhe annähernd der gleiche Gesichtswinkel entspricht. — Mit der Erhebung in grössere Höhen erweitert sich der wirkliche Umfang unseres Gesichtskreises, dabei bleibt aber, weil in dem Maasse als die Ferne unserm Auge zugänglicher wird dagegen die Nähe verschwindet, der scheinbare Umfang desselben und daher auch die scheinbare Entfernung des Horizontes so lange constant, als der äusserste Visirwinkel, d. h. derjenige unter welchem der Horizont uns erscheint, nicht merklich sich ändert, was erst in verhältnissmässig bedeutenden Höhen der Fall ist. Uebrigens erscheint uns der ebene Horizont meistens nicht ganz unter 90^0, weil die fernsten Gegenstände ihrer Undeutlichkeit wegen nicht mehr gesehen werden, die Grenze desselben schwankt daher auch bedeutend je nach der Reinheit und Durchsichtigkeit der Atmosphäre. Sobald wir in so grosse Höhe gelangen, dass der äusserste Visirwinkel sich merklich verändert, so beginnt auch der scheinbare Umfang unseres Gesichtskreises sich zu verkleinern, und dies geschieht um so mehr, je höher wir uns erheben. — Da der Horizont, wenn nicht die Beschaffenheit des Terrains entgegensteht, uns nach allen Seiten hin immer gleich weit erscheint, so folgt von selber, dass unser Gesichtskreis nicht anders als kreisförmig sein kann, er ist dies aber in der gewöhnlichen Höhe, in der sich unser Auge über der Erdoberfläche befindet, ganz unabhängig von der Gestalt unserer Erde, und er wäre es auch dann, wenn diese etwa eine unbegrenzte Ebene sein würde; weil nun der Horizont uns als

Kreis erscheint, so halten wir auch den Himmel für eine Kugelschale, wie ja schliesslich alle unsere ursprünglichen astronomischen Vorstellungen weniger ihren Grund in den kosmischen Gegenständen haben, als in uns selber und in der Beschaffenheit unserer Wahrnehmung. —

Während wir mittelst der Augenbewegungen uns von der Tiefenausdehnung eine Anschauung bilden, gewinnen wir zugleich ein Urtheil über den Einfluss der Entfernung auf die scheinbare Grösse der Gegenstände. Der ausgebildete Sinn vermag desshalb bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit, aus der letztern allein Tiefendistanzen zu bestimmen, und diese Bestimmung wendet er theils in den Fällen an, wo die Beschaffenheit des Terrains die andere unmöglich macht, namentlich aber immer in grösseren Entfernungen, in denen wegen der raschen Abnahme des Gesichtswinkels für Tiefendistanzen alle Gegenstände nahezu wie in einer Fläche liegend erscheinen. Die zwei Hauptmomente, die bei der Perspektive in Betracht kommen, sind daher: erstens die Zunahme des Visirwinkels, unter dem die Fusspunkte der Gegenstände erscheinen, d. h. die scheinbare Ansteigung der ebenen Bodenfläche, und zweitens die Abnahme des Gesichtswinkels oder der scheinbaren Grösse der Gegenstände im Sehfeld; das erstere dieser Momente ist vorzugsweise in grösserer Nähe, das letztere in grösserer Ferne von Einfluss.

Vierte Abhandlung.

Ueber das Sehen mit zwei Augen.

Die Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen zerfallen in die Lösung einer physikalischen und psychologischen Aufgabe. Die physikalische Aufgabe hat die Frage zu beantworten: welches ist bei gegebener Lage der äusseren Objekte das räumliche Lageverhältniss der Netzhautbilder in beiden Augen? Die psychologische Aufgabe hat dann die Frage aufzunehmen: wie bildet die Seele bei gegebenem räumlichem Lageverhältniss der Netzhautbilder die binokulare Gesichtswahrnehmung?

Die erste dieser Aufgaben hat auszugehen von der Untersuchung der combinirten Augenstellungen, und hat dann zu untersuchen, wie sich bei bestimmter Augenstellung die beiden Netzhautbilder eines Punktes von bekannter Lage zu einander verhalten. Die zweite Aufgabe hat zu untersuchen, wie die binokulare Gesichtswahrnehmung sich verhält, wenn sich in bekannter Weise durch die Lageänderung des äusseren Punktes die Lage der Netzhautbilder verändert.

Der zweite und dritte Abschnitt der folgenden Untersuchungen beschäftigt sich mit der Lösung der physikalischen Aufgabe, nämlich mit der Untersuchung der combinirten Augenbewegungen und des räumlichen Lageverhältnisses der Netzhautbilder. Der Erörterung der combinirten Augenbewegungen ist im ersten Abschnitt die besondere Untersuchung der Convergenzbewegungen und ihres Einflusses auf die Tiefenwahrnehmung vorangestellt. Der vierte Abschnitt der folgenden Untersuchungen hat sich mit der Lösung der psycholo-

gischen Aufgabe zu beschäftigen, es wird in demselben gezeigt werden, wie aus der Verschiedenheit der Netzhautbilder sich die binokulare Tiefenwahrnehmung entwickelt. Einige Untersuchungen über den binokularen Contrast und über den Wettstreit binokularer Wahrnehmungen, welche die hier erhaltenen Resultate vollständiger begründen sollen, werden den Gegenstand der folgenden Abhandlung bilden.

1. Ueber den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die räumliche Tiefenwahrnehmung.

Schon Cartesius hat behauptet, wir benützten zur Erkenntniss der Entfernungen ausser der Formänderung des Auges bei der Accommodation den Convergenzwinkel der beiden Augenaxen, aus dem wir durch eine Art natürlicher Geometrie auf die Distanz des gesehenen Gegenstandes zu schliessen vermöchten.*) Seitdem ist der Convergenzwinkel der Sehaxen von den meisten Schriftstellern über diesen Gegenstand bald als Haupt- bald als Nebenmoment der Entfernungsschätzung aufgeführt worden. J. Müller zeigte zwar, dass nicht unmittelbar von einer Proportionalität zwischen der Nähe des Gegenstandes und der Convergenz der Sehaxen gesprochen werden könne, da diese nur für Gegenstände richtig ist, die gerade vor uns, gleich weit von beiden Augen entfernt gelegen sind, nicht aber für seitliche Gegenstände, deren Convergenzwinkel um so kleiner wird, je weiter sie sich aus der Mittelebene beider Augen entfernen. Müller nahm deshalb an, die Convergenz der Sehaxen sei nur so lange auf die Entfernungsbestimmung von Einfluss, als sich die fixirten Gegenstände in jener Mittelebene befänden. Volkmann hat hiergegen bemerkt, dass übrigens offenbar auch hier die Proportionalität zwischen Convergenz der Sehaxen und Nähe des Gegenstandes nicht aufgehoben sei, sobald nur immer die seitliche Verschiebung des Gegenstandes constant bleibe.**) Aber die ganze Schwierigkeit dieser Sache verschwindet, wenn man erwägt, dass in dem Convergenzwinkel an sich keinerlei Entfernungsbestimmung enthalten sein kann, und dass anderweitige Verhältnisse bestehen müssen, die uns den Convergenzgrad unserer Sehaxen erst bewusst werden lassen. Würde uns also z. B. im Muskelgefühl ein Mass für die Convergenz

*) Oeuvres. T. V. Dioptrique. p. 61.
**) Art. Sehen. Wagner's physiol. Handwörterbuch. III. 1. S. 347.

unserer Sehaxen gegeben sein, so wäre es undenkbar, dass wir durch dieses Mass lediglich nur die Grösse des Convergenzwinkels sollten bestimmen können, ohne zugleich Aufschluss zu erhalten über die mehr oder weniger seitliche Lage des fixirten Gegenstandes, das Muskelgefühl würde uns für diese seitliche Verschiebung ebenso gut ein Mass abgeben müssen wie für die geradlinige Entfernung, da dasselbe bei zwei gleichen Convergenzwinkeln, von denen der eine einem in der Mittelebene beider Augen gelegenen ferneren Gegen stande, der andere einem seitlich gelegenen näheren Gegenstande entspricht, nothwendig ganz verschieden ist, weil bei beiden Bewegungen der Contractionsumfang der betheiligten Muskeln sich unterscheidet, und weil zum Theil sogar beide Male ganz verschiedene Muskeln in Wirksamkeit treten. So würde z. B. der Fixation eines in grosser Ferne in der Mittelebene und im Horizont befindlichen Punktes eine sehr schwache und gleichmässige Contraction beider Recti interni entsprechen, der Fixation eines unter dem gleichen Convergenzwinkel nahe und stark seitlich gesehenen Gegenstandes würde eine starke Contraction des Rectus internus der entgegengesetzten Seite entsprechen, auf der dem Gegenstand zugekehrten Seite würde aber der Rectus internus gar nicht, dagegen der Rectus externus schwach contrahirt sein. Es ist klar, dass in beiden Fällen das resultirende Muskelgefühl völlig verschieden sein muss, und dass ferner, wenn wir, wie sich zeigen wird, im Stande sind dieses Muskelgefühl in seine einzelnen Componenten aufzulösen, wir in demselben nicht blos ein Mass für die Entfernung, sondern überhaupt ein Mass für die Lage der Gegenstände in ihrer Beziehung zu uns selber besitzen. Wenn wir daher von dem Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die Entfernungsbestimmung reden, so müssen wir von vornherein bemerken, dass dies streng genommen ein ungenauer Ausdruck ist, der aber eine gewisse historische Berechtigung hat, weil viele Untersuchungen in der Tendenz angestellt worden sind, einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen Convergenz und Entfernungsschätzung nachzuweisen.

Den Einfluss des Muskelgefühls bei der Bestimmung der Lage der Gegenstände aus dem Convergenzwinkel hat zuerst Hueck*) darzuthun versucht. Er nahm an, wir hätten uns durch Uebung und Gewöhnung vermittelst der Muskelgefühle unserer inneren und äusseren Augenmuskeln die Kenntniss der Stellung unserer Augenaxen und in Folge dessen auch

*) Müller's Archiv, 1840. S. 76.

der Lage des fixirten Objektes erworben. Hueck stützte sich dabei besonders auf einige pathologische Beobachtungen, wo bei durch Verletzung entstandener abnormer Stellung beider Sehaxen sich das Urtheil über die Entfernung der Gegenstände in auffallender Weise geändert hatte.*) In der That lassen diese Beobachtungen nur eine Deutung zu, wenn man annimmt, dass das Bewusstsein der Stellung unserer Sehaxen uns erst durch das Muskelgefühl vermittelt wird. Es sind diese pathologischen Fälle offenbar nichts anderes als Störungen in den gewohnten Beziehungen des Bewegungsgefühls unserer Augenmuskeln zu der Stellung unserer Augen, wie solche Störungen eintreten müssen entweder bei unvollkommenen Lähmungszuständen oder bei Dislocirungen eines oder beider Augen, wenn in diesen Fällen ein combinirtes Sehen noch möglich ist und nicht, wie gewöhnlich, das eine Auge ausser Thätigkeit tritt. Es entsprechen also diese Fälle ganz und gar den Beobachtungen von Graefe's über seitliche Versetzung des Sehfeldes bei der Parese des Abducens, die wir früher erörtert haben.**)

H. Meyer hat die Folgerungen, die aus den angeführten pathologischen Beobachtungen gezogen werden mussten, durch physiologische Versuche bestätigt, indem er zuerst direct nachwies, dass die scheinbare Entfernung der Gegenstände mit der wechselnden Convergenz der Sehaxen sich ändert; und zugleich zeigte er, dass die scheinbare Grösse der Gegenstände zur Bestimmung ihrer Entfernung in unmittelbarer Beziehung steht, indem die erstere mit der letzteren im umgekehrten Verhältnisse sich ändert. Man befestige einen in gleichen Zwischenräumen mit congruenten Figuren, z. B. Oblaten, bedeckten Papierbogen an die Wand und betrachte denselben

*) Besonders augenfällig ist der von Fleischmann mitgetheilte Fall (in Hufeland's Journal für prakt. Heilkunde. 1838. S. 88), den Hueck näher erörtert. Bei einem gesunden Manne hatte sich in Folge einer Contusion eine solche Stellungsänderung des linken Auges ausgebildet, dass die Sehaxe desselben nach Innen und Oben abwich. Bei geschlossenem linkem Auge verhielt sich das Sehen normal; sobald aber das linke Auge geöffnet wurde, entstand zuerst Doppeltsehen, und dann entschwebten plötzlich die Gegenstände, so dass ihre Entfernung auf das fünf- bis achtfache des Wirklichen geschätzt wurde. In geringerem Grade trat diese Gesichtstäuschung auch ein, wenn das rechte Auge zugehalten wurde. — Das Fernsehen kann in diesem Fall nur als eine durch das Muskelgefühl bedingte Täuschung erklärt werden, indem der Rectus externus des linken Auges mit abnormer Energie sich contrahiren musste, um mit dem rechten Auge zusammen einen bestimmten Convergenzzustand herbeizuführen, und dadurch entstand nothwendig eine falsche Schätzung des Convergenzwinkels.

**) S. Abh. III. 4. Graefe, Archiv f. Ophthalm. I. 1. S. 18.

aus angemessener Entfernung; man verschaffe sich dann Doppelbilder dadurch, dass man einen hinter dem Bogen gedachten Punkt fixirt, bringt man nun diese Doppelbilder so zur Vereinigung, dass immer das rechte Bild der einen Figur und das linke Bild der zunächst nach rechts von ihr liegenden zusammenfallen, so erscheinen die so vereinigten Figuren ferne gerückt und vergrössert. Das Umgekehrte tritt ein, wenn man rechtseitige Doppelbilder hervorbringt und entsprechend vereinigt, durch Fixirung eines vor dem Bogen gelegenen Punktes: die Figuren erscheinen näher gerückt und verkleinert.*) Ueber die scheinbare Grössenänderung der Gegenstände bei verändertem Convergenzwinkel hat Meyer später mittelst des Wheatstone'schen Spiegelstereoskops genauere Messungen angestellt, aus welchen geschlossen werden kann, dass, wenn wirkliche Entfernung und Grösse des Bildes gleich bleiben, die scheinbare Grösse ungefähr in dem Masse abnimmt als der Convergenzwinkel wächst.**)

Es wurde oben bereits bemerkt, dass die pathologischen Erfahrungen über eintretende Entfernungstäuschungen bei Dislocirung eines oder beider Augen es schon in hohem Grade wahrscheinlich machen, dass unser Urtheil über die Entfernung der Gegenstände bei binokularem Sehen direct durch die bei den Convergenzbewegungen eintretenden Muskelgefühle geleitet wird, welcher Schluss in den eben angeführten physiologischen Versuchen eine Bekräftigung findet. Die letzteren sind zugleich geeignet, eine andere Ansicht zurückzuweisen, die man sich von jenem Vorgang häufig gebildet hat, nämlich die, dass uns die Augenstellung nur auf indirectem Wege, durch ihren Zusammenhang mit einem bestimmten Accommodationsgrad, über die Entfernung des binokular fixirten Objektes Aufschlusss verschaffe. Die Ansicht, dass Augenstellung und Refractionszustand der Augen in einem unmittelbaren organischen Zusammenhang mit einander ständen, ist bekanntlich von J. Müller ausgesprochen worden.***) Er stützte sich dabei auf die einfachsten Beobachtungen, die uns zeigen, dass, wenn wir nach einem fixirenden Blick in die Ferne plötzlich einen nahen Gegenstand fixiren, wir diesen nicht einfach sehen können, ohne ihn deutlich zu sehen, und nicht undeutlich, ohne ihn doppelt zu sehen. Er schloss hieraus, dass die Thätigkeit der innern geraden Augenmuskeln innig an die

*) Archiv für physiolog. Heilkunde. Bd. I. S. 316. 1842.
**) Poggendorff's Annalen. Bd. 85. S. 198.
***) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 207 u. f.

Adaption für die Nähe gebunden sei, und er glaubte den organischen Grund dieses Zusammenhangs darin finden zu müssen, dass die Ciliarnerven theilweise aus dem Nervus oculomotorius ihre Wurzeln bezögen, der die Contraction der innern geraden Augenmuskeln beherrscht. Dagegen führten andere Beobachtungen Volkmann*) zu dem Resultat, dass zwar allerdings zwischen Sehaxenstellung und Accommodation ein gewisser Zusammenhang vorhanden sei, dass aber dieser Zusammenhang keineswegs als begründet in einem bestimmten organischen Mechanismus, sondern nur als die Folge von Uebung und Gewöhnung betrachtet werden dürfe. Volkmann zeigte, dass die Angabe Müller's, man könne nur deutlich sehen was man einfach sehe, keineswegs eine strenge Gültigkeit habe, sondern dass immer, wenn man mit dem einen Auge ein Objekt fixirt, so dass es vollkommen deutlich erscheint, während das zweite Auge verdeckt ist, und man dann das zweite Auge frei macht, das Objekt anfänglich im Doppelbilde erscheint und erst durch eine Correction der Augenstellung vereinigt wird. Diese Beobachtung hatte Müller schon für grössere Entfernungen der Objekte, in denen die Accommodation nicht mehr wirksam ist, gemacht (a. a. O. S. 215), aber man kann sich leicht überzeugen, dass sie auch innerhalb der Accommodationsgrenzen ihre Gültigkeit hat. Volkmann hat ferner noch eine andere Thatsache angegeben, welche gleichfalls die Annahme eines unmittelbaren organischen Zusammenhangs zwischen Accommodation und Augenstellung unwahrscheinlich macht, wenn sie dieselbe auch nicht geradezu widerlegt: dies ist die grosse Langsamkeit der Accommodationsbewegungen im Vergleich mit den sehr schnellen Drehungen des Augapfels. Nach Volkmann's Messungen nimmt eine Accommodationsbewegung ungefähr die Dauer von 90 Tertien in Anspruch, während das Auge zu einer Winkelbewegung von 10^0 nur 30 Tertien nöthig hat. Wenn die Geschwindigkeit beider Vorgänge so verschieden ist, so können unmöglich in jedem Augenblick Sehaxenstellung und Accommodationszustand sich correspondiren, sondern der letztere kann immer erst nach einer gewissen Zeit sich der ersteren angepasst haben.

In neuerer Zeit ist die Lehre von dem Zusammenhang zwischen Sehaxenstellung und Accommodation namentlich von Donders ausgebildet und für praktische Zwecke verwerthet

*) Art. Sehen. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. III. 1. S. 308.

worden.*) Für praktische Zwecke kann dieser Zusammenhang allerdings als eine streng gültige Regel angesehen werden, weil unter gewöhnlichen Verhältnissen die Ausnahmen sehr unbedeutend sind und nicht bemerkt werden. Ganz anders verhält sich aber die Sache, wenn es sich um die physiologische Aufklärung jenes Zusammenhangs handelt. In dieser Hinsicht hat Donders selbst zugegeben, dass die Abhängigkeit des Accommodationszustandes vom Convergenzwinkel der Sehaxen keineswegs als eine absolute zu betrachten sei, sondern dass unter Umständen die Accommodation sich auch unabhängig verändern könne. Donders wies nach, dass der Zusammenhang zwischen Sehaxenstellung und Accommodation nicht ein solcher ist, wie man ihn früher statuirt hatte, dass nämlich nicht jeder Sehaxenstellung ein ganz bestimmter Accommodationsgrad entspricht, sondern dass nur für jeden Convergenzwinkel eine bestimmte Accommodationsbreite vorhanden ist. Mit der Veränderung der Convergenz verändern sich also Fernpunkt und Nahpunkt, aber es bleibt immer bei constant bleibender Sehaxenstellung ein gewisser Spielraum der Accommodation möglich. Bei Verringerung der Convergenz rücken Fernpunkt und Nahpunkt weiter, bei Vergrösserung derselben rücken sie näher, ohne dass übrigens die Veränderungen des Nahpunktes denen des Fernpunktes unmittelbar correspondiren, und ohne dass irgend ein einfaches Verhältniss zwischen Accommodationsänderung und Convergenzänderung besteht.**)

Es ist leicht einzusehen, dass diese Thatsachen keineswegs unvereinbar sind mit der Annahme, dass Sehaxenstellung und Accommodation erst durch Uebung und Gewöhnung sich associirt haben, insbesondere wenn man erwägt, dass die einer bestimmten Sehaxenstellung entsprechende Accommodationsbreite nicht unveränderlich ist, sondern dass dieselbe durch fortgesetzte Uebung erweitert werden kann, indem der Fernpunkt noch etwas weiter rückt und der Nahpunkt sich etwas nähert. Jeder, der längere Zeit physiologische Versuche anstellt, bei denen er seine Augen Objekten zu accommodiren sucht, die

*) Donders, Nederlandsch Tijdschrift voer Geneeskunde. 1857. — Graefe's Archiv f. Ophthalmologie. Bd. VI. — Mac Gillavry, Dissert. Utrecht 1858.

**) Zum Theil sind diese Thatsachen schon früher von H. Meyer ermittelt worden, Henle's und Pfeufer's Zeitschr. f. rat. Med. Bd. V. 1846. S. 388, aber erst Donders hat durch genaue Messungen der Accomodationsbreite diesen für die praktische Ophthalmologie so wichtigen Gegenstand zu hinreichender Klarheit gebracht.

nicht im Convergenzpunkt der Sehaxen gelegen sind, kann leicht diese Wahrnehmung machen. Aber es ist im Grunde damit, dass man beide Vorgänge durch Gewöhnung und Uebung associirt nennt, nicht viel gewonnen, wenn man nicht näher bestimmt, auf welche Weise in diesem Fall Uebung und Gewöhnung wirksam sind, und dies ist bisher noch nirgends geschehen.

Es versteht sich von selbst, dass von einer absichtlichen Uebung hier nicht die Rede sein kann, sondern es kann unter Uebung und Gewöhnung nur eine solche Association der beiden ursprünglich von einander unabhängigen Bewegungen verstanden werden, wie sie nicht durch einen primären organischen Zusammenhang, sondern durch secundäre Momente entsteht, welche die Möglichkeit der Lösung jener Association schon in sich tragen. Wir würden also ein derartiges Zusammengehen von Convergenz- und Accommodationsgraden ein durch Uebung und Gewöhnung erworbenes nennen, wenn unter gewöhnlichen Verhältnissen dasselbe äussere Motiv, das einen bestimmten Convergenzgrad hervorruft, auch den correspondirenden Accommodationsgrad veranlassen müsste, so dass, nach öfterer Wiederholung dieser Vorgänge, sich der letztere dem ersteren zugesellte, auch ohne dass eine von Aussen einwirkende Nöthigung vorhanden wäre. Der Convergenzgrad würde hier durch fortgesetzte Gewöhnung an die Stelle des äusseren Motivs treten, das anfänglich ihn ebenso wie den Accommodationsgrad beherrschte. Es ist aber klar, dass hierbei von einer Uebung im gewöhnlichen Sinne, insofern darunter ein bewusster und willkürlicher Vorgang verstanden wird, nicht die Rede sein kann, sondern dass ein ganz unbewusster Process vorliegt, der aber in der Art seines Verlaufs und in seinem Erfolg mit dem was man Uebung nennt vollständig zusammenfällt.*)

Ich habe nun ein derartiges Bewegungsmotiv, das für die Accommodations- und Convergenzveränderungen gemeinsam ist, in der vorigen Abhandlung (Nr. 2 und 4) bereits besprochen. Es wurde dort nachgewiesen, dass die Accommodationsbewegungen geleitet werden durch gewisse dominirende Punkte und Linien im Sehfeld, dass vermöge eines bestimmten Reflexmechanismus das Auge, wenn nicht andere Verhältnisse störend einwirken, mit Nothwendigkeit der Entfernung jener dominirenden Punkte

*) Ich kann nicht umhin bei dieser Gelegenheit zu bemerken, dass übrigens die meisten Uebungsvorgänge, und gerade die für die Entwicklung der Seele bedeutsamsten, in ähnlicher Weise unbewusster Natur sind.

und Linien sich anpasst. Es wurde weiterhin nachgewiesen, dass eine ähnliche Art von Reflexmechanismus besteht zwischen dem Punkt des deutlichsten Sehens und der Bewegung des Auges, dass jeder von der sonst gleichmässigen Sehfeldfläche abstehende Punkt unser Auge zwingt die Sehaxe so einzustellen, dass das Bild des Punktes auf die Stelle des deutlichsten Sehens fällt. Beim binokularen Sehen gilt dieser Zwang für beide Augen, und es resultirt daraus der der Entfernung des Punktes entsprechende Convergenzgrad. So kommt es denn, dass mittelbar Accommodation und Convergenz mit einander in Zusammenhang treten, indem bald in Folge der Angewöhnung die erstere nach der letzteren sich richtet, auch wenn das äussere gemeinsame Motiv, der für beide zugleich bestimmende dominirende Punkt, nicht mehr vorhanden ist.

Hierbei ist nun das Verhältniss stets ein solches, dass die Accommodation nach dem Convergenzgrad sich richtet, niemals aber umgekehrt der Convergenzgrad nach der Accommodation. Der Grund hierfür ist offenbar der, dass die Convergenzbewegungen in unmittelbarer Weise von der Willkür abhängig sind, während wir die Accommodation erst mittelbar zu beherrschen lernen können, theils dadurch, dass wir uns einen Gegenstand in der bestimmten Entfernung vorstellen, theils aber auch eben dadurch, dass wir den bestimmten Convergenzgrad hervorrufen. Die Convergenzbewegungen emancipiren sich also von dem Reflexmechanismus, der auch sie ursprünglich allein leitet, in weit vollkommenerer Weise als die Accommodationsbewegungen, die niemals im eigentlichen Sinne willkürlich werden.

Es ist nun ferner leicht erklärlich, dass der so ausgebildete Zusammenhang zwischen der Accommodation und der Sehaxenstellung nicht ein solcher ist, dass einem bestimmten Convergenzgrad gerade ein bestimmter Accommodationsgrad entspricht, sondern dass für jeden Convergenzgrad noch eine gewisse Breite der Accomodation frei bleibt. Zunächst ist unser Auge ja, abgesehen von dem Ruhezustand des Accomodationsapparates, streng genommen zwar immer nur für eine einzige Entfernung accommodirt, aber die Empfindungsschärfe unserer Retina ist nicht so gross, dass wir die kleinsten Zerstreuungskreise noch wahrzunehmen vermöchten. Es ist uns also von vornherein immer innerhalb einer gewissen freilich sehr engen Grenze eine beliebige Accommodationsbreite statt eines bestimmten Anpassungsgrades gegeben. Diese Accommodationsbreite erweitern wir nun aber leicht sehr weit über diese Grenze, wenn Ursachen einwirken, die jenen erworbenen Zusammenhang

wieder einigermassen zu lösen im Stande sind, wie z. B. absichtliche Uebung.

Man kann sich von dem Grade, in welchem die Lösung des Zusammenhangs zwischen Sehaxenstellung und Accommodation möglich ist, am leichtesten überzeugen, wenn man zwei Zeichnungen durch Schielen zu einem stereoskopischen Bilde vereinigt. Hier bleiben fortwährend beide Augen auf die Entfernung der Zeichnungen eingerichtet, während die Convergenz der Sehaxen einer ganz andern und oft sehr erheblich verschiedenen Entfernung entspricht. Aber gerade in diesem Fall ist das Auseinandergehen beider Bewegungen aus unserm obigen Princip leicht abzuleiten. Wenn die Sehaxen diejenige Stellung angenommen haben, bei welcher die Zeichnungen stereoskopisch vereinigt werden, so ist vermöge des Einflusses der dominirenden Linien ein gewisser Zwang vorhanden, durch den sie in dieser Stellung verbleiben. Ebenso ist für das Auge durch jene Linien die Nöthigung zu einem bestimmten Accommodationszustand gegeben, der aber von dem Accommodationsgrad verschieden ist, welcher unter gewöhnlichen Verhältnissen der vorhandenen Sehaxenstellung zukommt.

Ist es somit als nachgewiesen zu betrachten, dass der Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz der Sehaxen erst ein erworbener ist, der unter Umständen wieder gelöst werden kann, so kann auch kaum mehr die Rede davon sein, das Urtheil über die Entfernung der Objekte, das, wie sich leicht nachweisen lässt, von den Convergenzbewegungen unserer Augen in hohem Grad abhängig ist, nicht unmittelbar in diesen Bewegungen selber, sondern in den sie begleitenden Accommodationsveränderungen zu suchen, wie dies von Manchen geschehen ist.*) Wir verlegen bei Betrachtung zweier stereoskopischer Zeichnungen das durch die Vereinigung erhaltene Object, wenn nicht der Convergenzwinkel sehr klein ist, ungefähr in den Convergenzpunkt der Sehaxen und also entweder weiter oder näher als die Entfernung beträgt, auf die wir accommodirt sind. Es giebt aber einige Thatsachen und Versuche, die das Nämliche noch directer beweisen.

Würde nur die Accommodation unser Urtheil über die Entfernungen leiten, so könnte zwischen binokularem und monokularem Sehen in dieser Hinsicht kein Unterschied sein. Sobald nicht die stereoskopischen Erscheinungen in Rücksicht fielen, würde unser Urtheil über die räumliche Tiefenausdehnung beim Sehen mit einem und mit zwei Augen sich nicht unter-

*) S. Moser, Art. Auge. Repertorium der Physik. Bd. V. S. 393.

scheiden. Man kann sich aber leicht überzeugen, dass sich dies anders verhält, und dass auch, wo die stereoskopischen Erscheinungen nicht in Rücksicht fallen, unser Urtheil über Entfernungen und räumliche Verhältnisse beim Sehen mit zwei Augen ein wesentlich vollkommneres ist. Dove hat einige Beobachtungen mitgetheilt, die dies sehr deutlich zur Anschauung bringen. Das von einem ebenen Spiegel entworfene Bild scheint binokular betrachtet so weit hinter dem Spiegel zu liegen, als der Gegenstand vor demselben befindlich ist. Betrachtet man nun sein eigenes Bild im Spiegel zuerst binokular, und schliesst man dann das eine Auge, so scheint nach einiger Zeit der Spiegel so weit zurückzuweichen, dass der Rand desselben das Spiegelbild als Rahmen umfasst. Ebenso wird das Bild, welches ein Hohlspiegel entwirft, nur dann vor demselben liegend gesehen, wenn es mit beiden Augen betrachtet wird, nicht aber bei monokularem Sehen. Derselbe Unterschied findet sich endlich bei der Betrachtung von Gegenständen durch ein dickes Planglas. Legt man ein solches auf eine Zeichnung, so erscheint diese bei binokularer Betrachtung näher gerückt, bei monokularer Betrachtung verschwindet aber die Hebung fast gänzlich. Das Aehnliche beobachtet man auch bei der Hebung in Folge der Brechung durch Prismen und Kalkspathrhomboeder*).

Sehr instructiv für diese Verhältnisse habe ich ferner folgenden Versuch gefunden. Ich zeichne zwei Quadrate oder Kreise und bringe dieselben neben einander in beträchtlich verschiedene Entfernung. Nun schiebe ich beide Bilder über einander dadurch, dass ich auf einen vor oder hinter ihnen gelegenen Punkt die Sehaxen einstelle, dabei werden Grösse und Entfernung der Zeichnungen so gewählt, dass sie sich nicht vollständig decken, sondern dass entweder die eine in der andern liegt oder nur mit einer Seite sie berührt. Anfänglich sieht man nun die eine Figur, diejenige, auf die sich die Aufmerksamkeit weniger richtet, mit Zerstreuungskreisen; bemüht man sich aber beide Figuren als eine Zeichnung zu sehen, so verschwinden diese Zerstreuungskreise, und man sieht das vereinigte Bild vollkommen deutlich. Man bemerkt hierbei sogar das Gefühl der verschiedenen Accommodationsanstrengung in beiden Augen. Zugleich erscheinen bei diesem Versuch die verschiedenen Quadrate oder Kreise keineswegs verschieden entfernt, sondern beide scheinen eine Zeichnung in der durch den Convergenzpunkt gelegten Ebene zu bilden. Die Meinung, als wenn die

*) Dove, Poggendorff's Ann. 1858. Bd. 14. S. 325., Optische Studien. 1859, S. 20.

eine Figur vor oder hinter der andern liege, entsteht bisweilen nur dadurch, dass wegen der verschiedenen Entfernung die Contouren der Figuren von verschiedener Dicke erscheinen; corrigirt man aber die Contouren der einen Figur mit Rücksicht hierauf, so verschwindet alsbald diese Meinung. Verschiebt man ferner die eine oder andere Figur in der Tiefenrichtung, so scheint die Gesammtzeichnung an ihrer Stelle zu bleiben und nur ihre Grösse zu ändern. Man nehme z. B. zwei gleich grosse Quadrate und bringe das eine in 16, das andere in 8 Zoll Entfernung. Schiebt man nun beide über einander, so kommt das entferntere Quadrat in das nähere zu liegen. Bringt man dann bei unverändert bleibender Convergenz das erstere allmälig dem letzteren näher, so bleibt die Zeichnung an ihrem Orte, und es scheint blos das sich nähernde Quadrat sich zu vergrössern. — Es beweist dieser Versuch, dass nicht blos die Accommodation von der Stellung der Sehaxen vollkommen unabhängig gedacht werden kann, sondern dass man auch unter dem Einfluss der dominirenden Linien im Stande ist die Accommodation des einen Auges von der Accommodation des andern unabhängig zu machen; und der Versuch beweist zweitens, dass die Accommodation für das Urtheil über die Entfernung der Gegenstände im Vergleich mit der Convergenz der Sehaxen von so untergeordneter Bedeutung ist, dass ihr Einfluss gegen den Einfluss der letzteren vollkommen verschwindet.

Diese Schlussfolgerungen empfangen ihre Bestätigung durch directe Versuche über den Einfluss der Convergenz der Sehaxen auf die Schätzung der Entfernungen. Ich habe diese Versuche nach derselben Methode angestellt wie die in der vorigen Abhandlung (Nr. 1.) über den Einfluss der Accommodation mitgetheilten. Die Versuchsanordnung war ganz die dort in Fig. 1. gezeichnete, nur war statt der Röhre bei *o*, die nur das Durchsehen mit einem Auge zuliess, ein horizontaler Schlitz etwas grösser als die Entfernung beider Augen und vom Verticaldurchmesser der früher gebrauchten Röhre angebracht, welcher Schlitz sich gleichfalls gegen das Innere des Apparates zu so weit röhrenartig verlängerte, dass das Sehen der seitlich gelegenen Gegenstände unmöglich wurde. Es wurde also hier lediglich der im weissen Sehfeld befindliche Faden binokular betrachtet, ohne dass ausser der Convergenz der Sehaxen und der Accommodation beider Augen Anhaltspunkte vorhanden waren, die das Urtheil über die Entfernung des Fadens zu leiten vermochten. Der Einfluss der Convergenz lässt sich natürlich bei diesen Versuchen von dem der Accommodation nicht isoliren, da wir aber den letzteren bei den

monokularen Sehversuchen bereits kennen gelernt haben, so sind wir berechtigt, alle Verschiedenheiten, die wir jetzt zwischen beiden Fällen auffinden, lediglich dem Einflusse der Convergenz der Sehaxen zuzuschreiben.

Eine Reihe von Versuchen stellte ich so an, dass ich in derselben Weise wie früher einen Faden benutzte und in den verschiedensten Distanzen desselben von den Augen die Grenze der Verschiebung bestimmte, bei der noch eine Annäherung oder eine Entfernung wahrgenommen werden konnte.

Auch bei diesen Versuchen überzeugt man sich alsbald, dass es durchaus unmöglich ist, hierbei ein Urtheil über eine absolute Entfernung zu fällen. Zwingt man sich mit dem Massstab in der Hand zu einem Urtheil, so fällt dieses immer zu klein aus, und zwar scheint die wirkliche Entfernung meistens um ein Drittel bis die Hälfte verkürzt, ohne dass aber irgend ein constantes Verhältniss zwischen der wirklichen und geschätzten Entfernung stattfindet. Die Schätzung ist zwar, namentlich bei grösserer Annäherung des Fadens, etwas sicherer und nähert sich etwas mehr dem Richtigen als beim Sehen mit einem Auge, aber es ist der Unterschied zwischen monokularem und binokularem Sehen in dieser Hinsicht keineswegs irgend erheblich. Dies muss hier um so mehr hervorgehoben werden, weil die gegentheilige Meinung, dass wir bei binokularem Sehen wirklich die absolute Entfernung des fixirten Punktes zu beurtheilen vermöchten, sehr verbreitet ist und in den erwähnten Versuchen von H. Meyer scheinbar eine Stütze gefunden hat, obgleich die genauere Betrachtung dieser Versuche überzeugt, dass dieselben nur für das Urtheil über relative Entfernungsänderungen beweisend sind. Es ist eine durchaus falsche Meinung, wenn man glaubt, dass wir eine unmittelbare Kenntniss hätten von dem Punkte, in welchem unsere Sehaxen sich kreuzen; diese Kenntniss ist immer nur eine relative, d. h. wir wissen immer nur, ob wir auf einen nähern oder fernern Punkt als unmittelbar vorher unsere Augen eingestellt haben, aber selbst über den Grad der Entfernungsverschiedenheit zweier successiv betrachteter Punkte haben wir nur eine höchst ungefähre Vorstellung. Aus vielfachen Beobachtungen über relative Entfernungsverschiedenheiten haben wir uns nun allerdings auch eine gewisse Ansicht über absolute Entfernungen gebildet, aber wie irrthümlich und schwankend diese ist, davon kann man sich durch folgende Beobachtungen überzeugen.

Wenn wir ein unmittelbares Bewusstsein hätten von dem Convergenzpunkt unserer Sehaxen, so würde es leicht sein,

nachdem wir eine bestimmte Convergenz hervorgerufen haben, ohne aber einen Gegenstand zu fixiren, ein beliebiges Objekt in den Convergenzpunkt zu bringen, und dieses Objekt müsste alsbald einfach erscheinen, während, wenn wir das Objekt vor oder hinter den Convergenzpunkt bringen, es in verkehrt- oder rechtseitigen Doppelbildern gesehen werden muss. Man stelle also die Sehaxen in Convergenz, indem man in den leeren Raum starrt, und bringe dann einen feinen verticalen Stab in den vermutheten Convergenzpunkt. Man sieht hierbei immer zuerst Doppelbilder, die man erst nachträglich durch Correction der Sehaxenstellung zur Verschmelzung bringt, und zwar ist die Entfernung der Doppelbilder oft sehr beträchtlich.

Zur Vervollständigung dieses Beweises will ich hier eine auf die oben beschriebene Weise durch die directe Schätzung der Entfernung eines Fadens gewonnene Messungsreihe noch anfügen. Die Entfernungen sind Centimeter.

Wirkliche Entfernung.	Geschätzte Entfernung.
180	120
160	92
140	78
120	58
100	48
90	47
80	47
70	37
50	22
40	25

Die Bestimmung der relativen Entfernung der Objekte ist dagegen bei diesen Versuchen mit grosser Vollkommenheit möglich, und sie unterscheidet sich bei binokularem Sehen auf sehr bemerkenswerthe Weise von den auf monokulare Sehversuche gegründeten Bestimmungen. Misst man in derselben Weise wie früher die Grenze der Verrückung des Fadens, bei welcher eine Entfernungsveränderung desselben gerade noch wahrgenommen wird, so findet man, dass erstens diese Grenze bedeutend kleiner ist als bei monokularen Sehversuchen, und dass zweitens nicht wie dort innerhalb des ganzen Accommodationsgebietes ein merklicher Unterschied zwischen der Grenze der Annäherung und der Entfernung des Fadens vorhanden ist. Ein solcher Unterschied ist hier nur noch vorhanden in Distanzen, die in grösserer Entfernung vom Auge, aber noch diesseits des Fernpunktes der Accommodation gelegen sind, doch ist er auch hier geringer als bei den monokularen

Sehversuchen, und er verschwindet bei der grösseren Annäherung an's Auge gänzlich.

Ich werde, um eine Vergleichung möglich zu machen, eine Versuchstabelle hier anfügen, die von demselben Individuum gewonnen ist, von dem ich in der vorigen Abhandlung die monokularen Messungen mitgetheilt habe.

Entfernung des Fadens vom Auge.	Unterscheidungsgrenze für Annäherung	— für Entfernung.
180	3,5	5
170	3	4
160	3	3
150	3	3
130	2	3
110	2	2
80	2	2
70	1,5	1,5
50	1	1

Die so erhaltenen Resultate sind jedoch keineswegs vollkommen constant, sondern sie können durch verschiedene Umstände abgeändert werden. Zunächst ist auch hier der Durchmesser des Fadens von einigem Einfluss. Bei einem dünneren Faden tritt manchmal die Verschiedenheit zwischen der Unterscheidungsgrenze der Annäherung und der Entfernung noch zu Tage, wo sie bei einem dickeren Faden schon aufgehört hat; ferner kann sogar bei binokularem Sehen, und zwar innerhalb des Gebiets merklicher Convergenz, die Täuschung eintreten, dass eine Verwechslung zweier Fäden von verschiedenem Durchmesser auf eine verschiedene Entfernung eines und desselben Fadens bezogen wird, aber es tritt diese Täuschung hier nur in verhältnissmässig geringer Breite auf. Von wesentlichem Einfluss auf die Unterscheidungsgrenzen ist endlich die Ermüdung. Diese ändert vorzugsweise die Bestimmungen in grösserer Nähe, während die Unterscheidungsgrenzen für fernere Punkte durch sie nur sehr langsam alterirt werden. Schon in der oben mitgetheilten Tabelle machen diese durch die Ermüdung veranlassten Schwankungen in den näheren Distanzen sich geltend, sie werden aber noch grösser, wenn man den Augen sehr bedeutende Convergenzstellungen zumuthet. So fand ich für 10 Cm. Entfernung kurz nach einander die Unterscheidungsgrenze zwischen 1 und 3 Cm. schwankend; dabei ändert sich dieselbe für Annäherung und Entfernung meistens gleichmässig. Ueber 10 Cm. konnte bei dem beobachteten Auge

der Faden nicht genähert werden, da dessen Nahpunkt schon bei 40 Cm. lag und daher in grösserer Nähe die bedeutenden Zerstreuungskreise dem Auge sehr lästig wurden. Von 50 bis zu 10 Cm. schien sich übrigens bei unermüdetem Auge die Unterscheidungsgrenze nicht mehr zu ändern, sondern constant auf 1 Cm. zu bleiben. Bei kurzsichtigen Augen, denen der Faden auf 1 bis 2 Cm. nahe gebracht werden kann, nimmt übrigens die Feinheit der Unterscheidungsgrenze bei dieser grösseren Nähe noch erheblich zu, und ich sah sie hier sogar 0,2—0,3 erreichen, dabei stellt sich aber dann meistens wieder eine geringe Ungleichheit der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und Entfernung ein, indem die letztere fortwährend etwas grösser bleibt.

Vergleicht man die hier in den verschiedenen Entfernungen erhaltenen Werthe mit denjenigen, welche die monokularen Sehversuche lieferten, so fällt die bei binokularem Sehen so sehr viel feinere Unterscheidungsfähigkeit für Distanzunterschiede alsbald in die Augen. Die Verschiedenheit beträgt, je nach der Entfernung, nicht weniger als das Doppelte bis Vierfache des ganzen Werthes; sie ist geringer in weiteren Entfernungen und wächst immer mehr bei grösserer Annäherung. Aber es findet sich noch ein zweiter wesentlicher Unterschied; und dieser betrifft die Verschiedenheit in der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und für Entfernung. Diese ist bei den binokularen Sehversuchen gerade in jenen Distanzen, in denen sie bei monokularem Sehen am deutlichsten hervortrat, gar nicht vorhanden oder verschwindend klein.

Diese beiden wesentlichen Differenzen zwischen der Erkennung von Distanzunterschieden bei monokularem und bei binokularem Sehen erklären sich nur durch die Annahme, dass im letzteren Fall nicht die Accommodation sondern die Convergenzbewegungen oder vielmehr die mit ihnen verknüpften Muskelgefühle das Hülfsmittel zur Entfernungsbestimmung abgeben. Die Gründe, warum die Erkennung von Distanzunterschieden bei monokularem Sehen einzig und allein dem Accommodationsgefühl zugeschrieben werden kann, habe ich früher ausführlich erörtert: der Hauptgrund bestand eben in der Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenze für Annäherung und Entfernung innerhalb des ganzen Accommodationsgebietes. Wir sehen diese Erscheinung beim binokularen Sehen wegfallen, wir sehen hier innerhalb einer Grenze, in der die Veränderung der scheinbaren Grösse des gesehenen Objektes noch bei weiten nicht in Betracht kommt, schon das Urtheil über Distanzverschiedenheiten nach beiden Richtungen hin mit gleicher

Schärfe möglich. Es muss somit dasjenige Moment, welches das Urtheil bestimmt, bei der Annäherung wie bei der Entfernung des Gegenstandes in gleicher Grösse wirksam sein. Hierin unterscheiden sich nun in der That die Convergenzbewegungen von den Accommodationsbewegungen. Während nur der Annäherung der Gegenstände eine active Anstrengung des Accommodationsapparates entspricht, dagegen bei der Entfernung derselben die Accommodationsmuskeln lediglich in ihrer Spannung nachlassen, sehen wir bei den Bewegungen des Augapfels die Divergenz wie die Convergenz durch active Muskelthätigkeit ausgeführt werden, indem das eine Mal die äussern, das andere Mal die innern geraden Augenmuskeln in Zusammenziehung gerathen. In den mit beiden Zusammenziehungen verbundenen Muskelgefühlen ist offenbar für die Wahrnehmung der Anhaltspunkt gegeben, nach welchem sie sich bei der Auffassung von Distanzverschiedenheiten richtet. Sind aber die Bewegungsgefühle in den äussern Muskeln des Augapfels in diesem Fall massgebend, so ist nun auch leicht erklärlich, dass die Unterscheidungsgrenzen hier so bedeutend feiner sind als bei monokularem Sehen, wo allein die Accommodation bestimmend ist. Denn die Einrichtung unseres Accommodationsapparates ist verhältnissmässig viel weniger genau als die des äussern Bewegungsapparates unseres Augapfels. Durch die Accommodation ist unser Auge niemals für einen einzigen Punkt eingestellt, sondern immer für eine Linie, die eine gewisse Tiefenausdehnung hat, und innerhalb deren uns die Zerstreuungskreise unmerklich sind. Unsere Sehaxen aber stellen wir mit sehr vollkommener Schärfe auf den Punkt ein, den wir fixiren, und bei weit geringeren Abweichungen werden uns schon Doppelbilder merklich, die uns zur Correction unserer Sehaxenstellung veranlassen. So kommt es, dass es auch für die Genauigkeit der Unterscheidung von Entfernungen, die wir uns bei binokularem Sehen durch Uebung erwerben können, kaum eine Grenze giebt, während bei monokularem Sehen eine solche Grenze sehr bald erreicht ist, deshalb weil die Accommodationslinien immer ihre bestimmte Ausdehnung behalten, unter die sie nicht merklich herabsinken können.

Von dieser äussersten Genauigkeit, die in dieser Hinsicht bei binokularen Sehversuchen erreichbar ist, kann man sich besonders überzeugen, wenn man nicht die Distanzen eines Fadens aus dem Gedächtniss vergleichen lässt, sondern wenn man zwei Fäden neben einander zum Versuch anwendet und durch unmittelbare Vergleichung ihre Distanzverschiedenheit bestimmen lässt. Hier ist in geringeren Entfernungen und

bis zu 600 Cm. Distanz die Unterscheidungsgrenze fast unmessbar klein, die allergeringste Verschiebung des einen Fadens gegen den andern wird noch wahrgenommen; erst bei 700 bis 800 Cm. Entfernung steigt dann die Unterscheidungsgrenze etwa auf 1 Cm. Auch hierin zeigt sich also eine wesentliche Verschiedenheit von den monokularen Sehversuchen, wo bei der unmittelbaren Distanzvergleichung die Werthe nicht erheblich unter die Unterscheidungsgrenzen für die Annäherung herabsanken.

Es bleibt uns jetzt noch die Ursache zu erörtern, aus der in gewissen mittleren Distanzen auch bei binokularem Sehen die Unterscheidungsgrenze für die Annäherung etwas feiner ist als diejenige für die Entfernung, wie dies unsere obige Tabelle zeigt. Der Grund hierfür kann ein doppelter sein: entweder können die innern geraden Augenmuskeln ein feineres Bewegungsgefühl besitzen als ihre äussern Antagonisten, oder aber es kann bei der Annäherung des Gegenstandes die Bewegungsempfindung der innern Augenmuskeln gewissermassen unterstützt werden durch das hinzutretende Accommodationsgefühl. Die letztere Meinung findet unmittelbar darin ihre Widerlegung, dass die Accommodation innerhalb der geringen Distanzunterschiede, die hier in Betracht kommen, unmerklich ist, und dass es überdies bei dieser Voraussetzung unverständlich wäre, warum bei näherem Herantreten an den Nahpunkt diese Verschiedenheit der Unterscheidungsgrenzen wieder verschwindet und nicht im Gegentheil bedeutender wird. Gegen die erste Meinung scheint aber derselbe Umstand zu sprechen: wenn das Bewegungsgefühl der innern Augenmuskeln feiner ist als das der äussern, so sollte man auf den ersten Blick die gleiche Verschiedenheit bei jeder Entfernung erwarten. Dieser Widerspruch lässt sich aber hier, wie ich glaube, leichter erklären. Wir sind offenbar am meisten eingeübt auf die Hervorbringung geringer Convergenzgrade, weil die Stellung mit parallelen Sehaxen dem Ruhezustand unserer Augen entspricht und wir daher, sobald wir ein nicht in unendlicher Ferne liegendes Objekt ins Auge fassen wollen, unsere Sehaxen zur Convergenz bringen müssen, diese Convergenz ist aber nur in verhältnissmässig seltenen Fällen eine bedeutende, weil das Betrachten sehr naher Objekte immerhin seltener ist als die Richtung des Blickes auf solche, die in mässiger Entfernung gelegen sind. Wir produciren daher sehr häufig geringe Convergenzgrade und immer in der Absicht, unsere Augen auf bestimmte Objekte einzustellen; wollen wir nach Erreichung dieser Absicht wieder unsere Augen in die Ruhestellung zurück-

kehren lassen, so genügt es vollständig die Recti interni wieder abzuspannen, worauf die Sehaxen sich parallel stellen, ohne dass es dabei nöthig gewesen wäre die Recti externi nur in Zusammenziehung zu versetzen. So kommt es, dass für geringe Convergenzgrade ein ähnlicher Fall eintritt wie bei den Accommodationsbewegungen, dass nur der Annäherung des Objektes eine merkliche active Muskelthätigkeit entspricht, während bei der Entfernung desselben lediglich die vorher thätigen Muskeln in ihren Ruhezustand zurückfallen. Streng genommen hat dies nur allerdings eine Gültigkeit für die Rückkehr von einem geringen Convergenzpunkt zur Ruhestellung mit parallelen Sehaxen. Aber es lässt sich leicht denken, dass bei Stellungen, die von der Ruhestellung nicht viel verschieden sind, sich die gleiche Gewöhnung geltend macht, und dass erst eine nachträglich eintretende Muskelthätigkeit die Augen in der neuen Stellung fixirt. Anders verhält sich dies bei bedeutenderer Nähe der Gegenstände. Wollen wir unsere Sehaxen aus einer starken Convergenzstellung in eine etwas schwächere überführen, so genügt es nicht blos die Recti interni abzuspannen, denn für den Nachlass der Thätigkeit eines Muskels haben wir, wie uns die Accommodationsversuche lehrten, in dem Muskelgefühl keinerlei Mass; wollen wir daher genau die bestimmte Stellung treffen ohne zuvor in die Ruhelage zurückzufallen, so müssen wir, während die Thätigkeit der innern geraden Augenmuskeln nachlässt, durch die äussern geraden Augenmuskeln die Sehaxen in ihre neue Stellung überführen, so dass also hier, wie die Versuche fordern, der Convergenz- wie der Divergenzbewegung eine active Muskelthätigkeit von gleicher Energie entspricht.

2. Ueber die combinirten Augenbewegungen.

Im vorigen Abschnitt ist bereits ein specieller Fall der combinirten Augenbewegungen, die Convergenz- und Divergenzbewegung oder, wie wir sie der Kürze halber mit einem Wort bezeichnen wollen, die Horizontalbewegung beider Augen zur Sprache gekommen. Diese Horizontalbewegung ist für das combinirte Sehen von besonderer Bedeutung, weil sie in nächster Beziehung steht zu der Wahrnehmung der Tiefendimension und zum Sehen in verschiedene Entfernungen, und weil sie, was damit zusammenhängt, von allen combinirten Bewegungen der Augen bei weitem den freiesten Spielraum hat. Die Horizontalbewegung ist nämlich dadurch ausgezeichnet, dass bei ihr jeder beliebige Bewegungsumfang und jede beliebige Bewegungsrichtung des einen Auges mit jedem beliebigen Bewegungsumfang und

jeder beliebigen Bewegungsrichtung des andern Auges sich verbinden kann, während bei der Verticalbewegung (nach oben und unten) beide Augen genau zum gleichen Bewegungsumfang und zur gleichen Bewegungsrichtung gezwungen sind. Zwischen beiden Extremen in der Mitte stehen die schrägen Bewegungen, bei denen in Bezug auf Bewegungsumfang und Bewegungsrichtung beide Augen nur insofern an einander gebunden sind, als die Sehaxen derselben fortwährend in einer Ebene bleiben müssen, welche die Vereinigungslinie der Drehpunkte beider Augen zur Axe hat; man kann sich daher auch alle schrägen Bewegungen hervorgebracht denken durch eine Drehung um diese Axe und durch eine nachher erfolgende Horizontalbewegung, d. h. sie lassen sich in successive Vertical- und Horizontalbewegungen zerlegen.

Die Wege, welche die Sehaxen beider Augen bei ihren Bewegungen zurücklegen, entsprechen vollkommen den Wegen der Sehaxe des einzelnen Auges, die wir früher erörtert haben. (Abh. III. 3.) Bei den Horizontal- und Verticalbewegungen, bei denen das einzelne Auge im Sehfeld gerade Linien zurücklegt, bewegen sich daher auch beide Augen in geraden Linien, während bei allen schrägen Bewegungen Bogenlinien von dem Endpunkte beider Sehaxen beschrieben werden. Dabei findet aber eine bemerkenswerthe Verschiedenheit statt, je nachdem der fixirte Punkt, der Durchschnittspunkt beider Sehaxen, während der ganzen Bewegung in der gleichen Ebene bleibt oder nicht. Der erstere Fall findet statt bei der ruhigen Betrachtung in einer Ebene liegender Gegenstände, und es sind hier die Curven, welche der Endpunkt jeder Sehaxe im Sehfeld beschreibt, vollkommen mit einander identisch in Bezug auf ihre Form und Richtung, es fallen nicht blos die Wege des Endpunktes der Sehaxe mit einander zusammen, sondern es sind auch die Wege der ganzen Sehaxe einander congruent und gleich gerichtet. Anders ist dies, wenn der fixirte Punkt sich sogleich nach der Tiefe des Raums hin bewegt, welcher Fall den Convergenz- und Divergenzbewegungen entspricht, die nicht blos als reine Horizontalbewegungen sondern auch, mit einer Verticaldrehung combinirt, als schräge Bewegungen vorkommen. Bei diesen schrägen Convergenz- und Divergenzbewegungen geht das Auge gleichzeitig über von einem entfernteren Gegenstand zu einem näheren oder umgekehrt und von einem höher zu einem tiefer gelegenen oder umgekehrt. Hier beschreiben beide Sehaxen Wege, die nicht vollkommen congruent sein müssen, sondern wo, je nach der Ausgangsstellung, der Krümmungshalbmesser des vom Endpunkt der

einen Sehaxe beschriebenen Bogens grösser oder kleiner sein kann als der Krümmungshalbmesser des vom Endpunkt der andern Sehaxe beschriebenen Bogens. Befinden sich z. B. die Augen in einer Ausgangsstellung, in der beide Sehaxen convergiren, so aber, dass das linke Auge etwas nach aussen und das rechte etwas stärker nach innen gedreht ist, und wird nun von dieser Stellung in eine zweite übergegangen, in der die Sehaxen auf einen noch näher, noch weiter links und noch weiter oben gelegenen Punkt convergiren, so kommt die hierzu nothwendige Bewegung zu Stande, indem das linke Auge einen kürzeren Weg von grösserem Krümmungshalbmesser, das rechte Auge einen längeren Weg von kleinerem Krümmungshalbmesser zurücklegt.

Sind aber die von beiden Sehaxen zurückgelegten Wege congruent, wie dies der Fall ist, wenn dieselben von einer symmetrischen Stellung wieder zu einer symmetrischen Stellung übergehen, so ist immer die Richtung der Bewegung eine verschiedene, und es gehen daher in diesem Fall die Krümmungen der von den Sehaxen beschriebenen Wege nach entgegengesetzten Richtungen. Gehen z. B. beide Augen aus einer symmetrischen Convergenzstellung (wo der fixirte Punkt in der Mittelebene beider Augen gelegen ist) wieder zu einer symmetrischen Convergenzstellung über, die sich von der vorigen dadurch unterscheidet, dass der fixirte Punkt zugleich näher und weiter oben liegt, so geht diese Bewegung bei meinen Augen in der Weise vor sich, dass beide Augen congruente Wege beschreiben, dass aber die Krümmung beider Wege nach innen geht, sich also zugekehrt ist. Da bei diesen schrägen Convergenzbewegungen beide Augen gekrümmte Wege beschreiben, so legt auch der Convergenzpunkt bei seiner Annäherung an's Auge oder bei seiner Entfernung von demselben nicht eine gerade sondern eine gekrümmte Linie zurück, deren Krümmung in jedem einzelnen Fall nach der Krümmung der von beiden Augen zurückgelegten Wege sich richtet; es ist dieser Weg des Convergenzpunktes nichts anderes als die Durchschnittslinie der zwei Kegelmäntel, welche von den Wegen der beiden Sehaxen gebildet werden*).

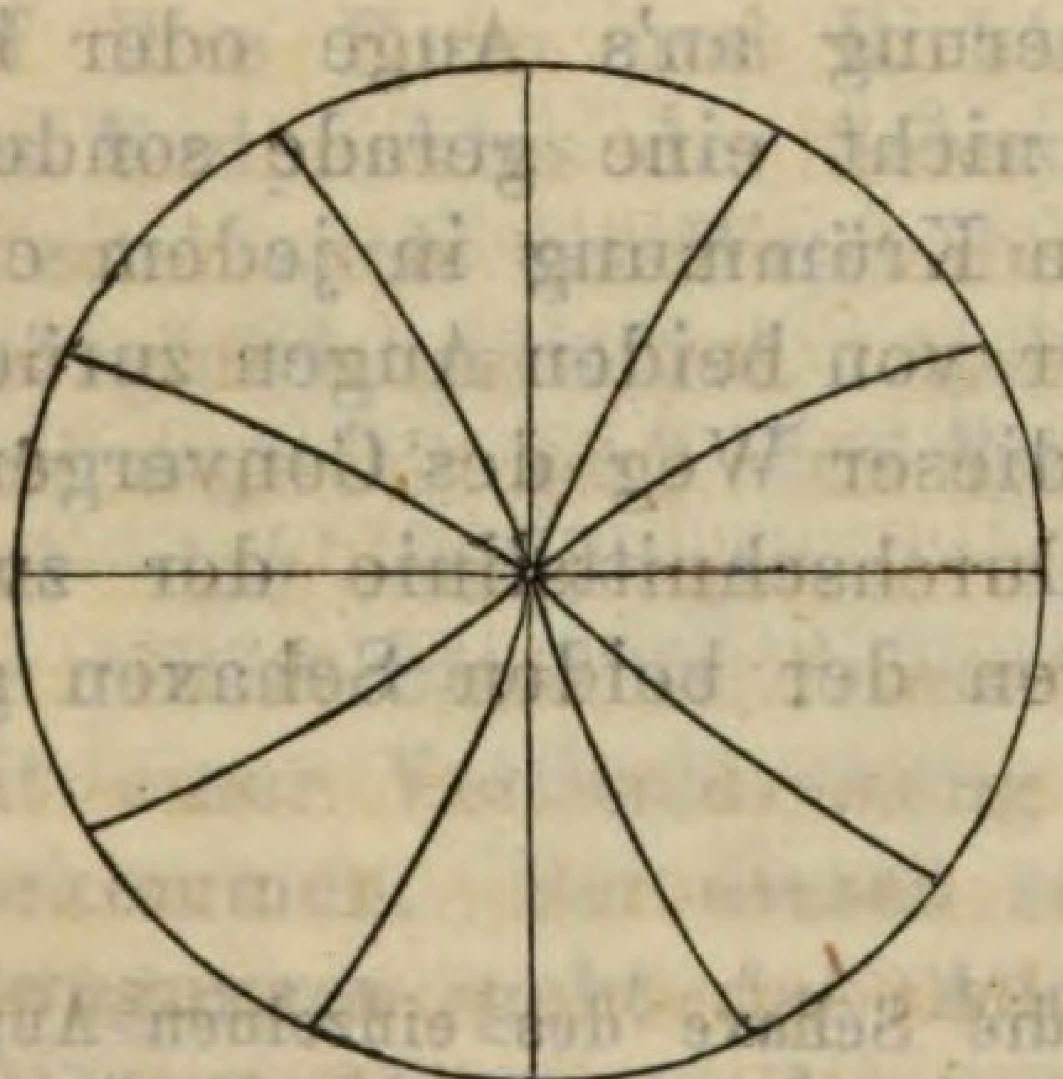
*) In Bezug auf die Wege, welche die Sehaxe des einzelnen Auges beschreibt, muss ich hier meinen früheren Angaben noch eine Ergänzung hinzufügen. Die Form dieser Wege war, wie die Versuche an meinem eigenen Auge ergaben, eine solche, dass der Endpunkt der Sehaxe bei allen schrägen Bewegungen nach innen Bogen beschrieb, deren Convexität nach innen gerichtet war, bei allen schrägen Bewegungen nach aussen Bogen, deren Convexität nach aussen gerichtet war (s. 3. Abh. Fig. 4). Die

Von ungleich grösserer Wichtigkeit als diese Ergebnisse über die Beschaffenheit der Wege, welche bei den combinirten Bewegungen die Sehaxe jedes einzelnen Auges zurücklegt, ist für das binokulare Sehen die Ermittlung der Stellung, in welcher sich für jede Lage der Augen jedes einzelne Auge befindet, denn aus dieser Stellung ergiebt sich unmittelbar das relative Lageverhältniss der auf beide Netzhäute entworfenen Bilder der Gegenstände. Die Ermittlung der combinirten Augenstellungen bildet daher das Hauptmoment für die Entscheidung aller das Einfach- und Doppelsehen der Objekte betreffenden Fragen.

Auch hier ist die Stellungsänderung jedes einzelnen Auges beim Uebergang aus einer ersten in eine zweite Lage gegeben, wenn man ausser der Richtung der Sehaxe die Drehung kennt, welche das Auge in Bezug auf dieselbe erfahren hat, d. h. man braucht ausser der jedesmaligen Richtung der Sehaxe immer nur die Stellung zu wissen, die irgend ein anderer Durchmesser oder ein Meridian des Auges zu derselben einnimmt, um von der Lage des Auges vollständige Kenntniss zu haben. Bestimmt man in dieser Weise die Lage beider Augen, und führt man diese Bestimmungen für alle möglichen Stellungen derselben aus, so hat man damit das Material zur Lösung jedes

Beobachtung an mehreren andern Augen lieferte ähnliche Ergebnisse und ich war deshalb geneigt zu glauben, dass das erwähnte Gesetz für alle Individuen massgebend sei. Ausgedehntere Versuche haben aber gezeigt, dass in selteneren Fällen auch die umgekehrte Krümmung der Bogenlinien vorkommt. Man findet nämlich bei einzelnen Individuen ebenso constant für alle schrägen Bewegungen nach innen die Concavität der Bogen nach innen und für alle schrägen Bewegungen nach aussen dieselbe nach aussen gekehrt, so dass für diese Fälle durch die nebenstehende Fig. 1. die Bewegungen des gelben Flecks dargestellt werden. Ich habe für diese Untersuchungen ausser der früher angegebenen Methode noch eine neue, die schnellere Ergebnisse liefert, mittelst Nachbildern angewandt, deren Methode ich Herrn Prof. Helmholtz verdanke. Man sieht leicht ein, dass die erwähnte individuelle Verschiedenheit in der Krümmung der Bogen auf einer eigenthümlichen Differenz der Muskelwirkung beruht, indem bei der ersten Form der Bewegung der obere oder untere gerade Augenmuskel über den äussern oder innern am Ende der Zusammenziehung, bei der zweiten Form der Bewegung aber im Anfang der Zusammenziehung ein relatives Uebergewicht behauptet.

Fig. 1.



Problems in der Hand, das von mechanischer Seite aus in Bezug auf das binokulare Sehen sich aufstellen lässt.

Es fällt nun, wenn man nur die Resultate kennt, die man in Bezug auf die Stellungen eines einzelnen Auges erhalten hat, sogleich in die Augen, dass jedenfalls bei der grössten Zahl der combinirten Augenstellungen beide Augen eine ungleiche Drehung um die Sehaxe müssen erfahren haben, vorausgesetzt nämlich, dass bei den combinirten Bewegungen nicht die Stellung des einzelnen Auges eine verschiedene von der ist, die es bei unabhängiger Bewegung in der gleichen Lage der Sehaxe einnimmt. Schon die Vergleichung der blossen Richtung der Drehung führt zu diesem Resultat. Wenn man z. B. das Auge von der Ruhestellung mit gerade nach vorn gerichteter Sehaxe aus nach innen und oben führt, so findet bei dieser Bewegung eine derartige Drehung um die Sehaxe statt, dass der anfänglich verticale Meridian des Auges sich mit seinem obern Ende nach innen neigt, und es lässt die Grösse dieser Drehung leicht sich messen, wenn man sich in der Anfangsstellung durch längeres Betrachten eines farbigen Streifens ein negatives Nachbild verschafft und dann nach der Bewegung unmittelbar die Drehung misst, welche dieses Nachbild, das immer auf eine zur Sehaxe senkrecht bleibende Ebene projicirt werden muss, erfahren hat. Ist nun die Drehung des andern Auges bei der gleichen Bewegung gleich gerichtet und annähernd gleich gross, wie dies in der That der directe Versuch ergiebt, so ist der Erfolg klar, der eintritt, wenn beide Augen aus der Stellung mit parallel gerade nach vorn gerichteten Sehaxen in eine Convergenzstellung nach Oben übergehen, wie dies geschieht, wenn sich jedes einzelne Auge nach innen und oben bewegt. Es werden dann die vorher parallelen Meridiane beider Augen nicht mehr parallel sein, sondern sich gegen einander geneigt haben und einen Winkel mit einander einschliessen. Ganz das Aehnliche findet statt, wenn die Sehaxen sich in eine Convergenzstellung nach unten bewegen, nur geht hier, wenn die Bewegung von bedeutenderem Umfang ist, die Drehung nach der entgegengesetzten Richtung; ja es tritt derselbe Erfolg ein, wenn die Sehaxen in ihrer ursprünglichen Horizontalebene bleiben und nur zu einer starken Convergenz sich einstellen, denn auch bei den Bewegungen des einzelnen Auges gerade nach innen findet eine geringe Drehung um die Sehaxe statt. Endlich sind auch bei allen unsymmetrischen Convergenzstellungen derartige Differenzen in der Stellung beider Augen vorauszusagen. Stellen sich z. B. beide Augen zur Convergenz auf einen Punkt, der links und oben im gemeinsamen

Sehfeld gelegen ist, so haben zwar beide Augen eine Drehung in der gleichen Richtung erfahren, der verticale Meridian eines jeden hat sich mit seinem obern Ende nach links geneigt, aber die Grösse dieser Drehung ist bei beiden verschieden, am rechten Auge, dessen Sehaxe bedeutender aus ihrer Anfangsstellung abweicht, ist auch der Drehungswinkel grösser, und beide Drehungswinkel fallen daher nicht zusammen sondern sind gegen einander geneigt.

Es ist nun leicht zu bemerken, dass die erörterte Differenz der Stellung beider Augen im Vergleich zu ihrer Anfangsstellung niemals direct gemessen werden kann. Die Stellung des einzelnen Auges wird ermittelt, wenn man zum Sehfeld eine auf die Sehaxe senkrechte Ebene nimmt und die Lage bestimmt, welche irgend ein Durchschnitt der Netzhaut projicirt auf diese Ebene in den verschiedenen Stellungen der Sehaxe hat; nur projicirt auf eine dergestalt immer zur Sehaxe senkrecht bleibende Ebene, sind die Drehungen, welche die Projectionen der Meridiane des Auges erfahren, den wirklichen Drehungen um die Sehaxe gleich, während der Einfluss der Perspective die Winkel verringert oder vergrössert, wenn sie auf irgend eine andere Ebene projicirt werden. Nun lassen sich aber die Drehungen beider Augen gegen einander gleichzeitig nicht anders ermitteln, als indem man dieselben auf eine Ebene projicirt, indem man also z. B. den Winkel misst, welchen zwei in der Anfangsstellung parallele Nachbilder bei der zweiten Stellung der Sehaxe auf einer Ebene mit einander bilden. Es giebt nun aber nur in einem einzigen Fall eine Ebene, die auf beiden Sehaxen zugleich senkrecht steht, nämlich wenn diese parallel in unendliche Ferne gerichtet sind, welcher Fall hier nicht in Rücksicht kommt. In allen andern Fällen bilden die auf die Sehaxen senkrechten Ebenen mit einander Winkel, welche die Convergenzwinkel zu 180° ergänzen, und es giebt daher kein gemeinsames Sehfeld, auf welchem die Stellungen beider Augen zu einander unmittelbar gemessen werden könnten, sondern man kann hierzu nur auf indirectem Wege gelangen, indem man entweder successiv die Stellung jedes einzelnen Auges ermittelt, oder indem man eine beliebige Ebene zum gemeinsamen Sehfeld wählt, auf dieses die combinirte Augenstellung bezieht und dann hieraus erst die wirkliche Stellung berechnet.

Die letztgenannte Methode ist von besonderer praktischer Bedeutung, denn schon ihre unmittelbaren Resultate haben Interesse für das Studium des binokularen Sehens. Variirt man nämlich für eine und dieselbe Sehaxenstellung die Ebene

des gemeinsamen Sehfeldes, so verändert man damit auch die Winkel, welche die gleichen Meridiane beider Augen in ihren Projectionen auf das Sehfeld mit einander einschliessen, und man erhält so unmittelbar durch das Experiment Aufschluss über die Grösse, in der sich die Incongruenz der Augenstellungen in verschiedenen Sehfeldern geltend macht. Auch hier sind im Ganzen die Nachbilder linearer farbiger Streifen für die Bestimmung der Lage der Augen am zweckmässigsten. Ich verschaffte mir in einer schwachen Convergenzstellung, in der noch keine merkliche Drehung um die Sehaxe vorhanden war, durch längeres Betrachten eines verticalen farbigen Streifens ein complementäres Nachbild und projicirte dann dieses Nachbild auf eine constante Verticalebene, auf der in verschiedenen Distanzen Fixationspunkte angebracht waren, an diesen waren farbige Fäden befestigt, die zur Fixation der Lage des Nachbildes, zum Behuf der nachherigen Messung, mit demselben zur Deckung gebracht wurden. Auf diese Weise liess sich bestimmen erstens die Stellungsänderung des verticalen Netzhautmeridians jedes einzelnen Auges beim Uebergang der Sehaxe aus einer bestimmten Lage in eine andere, und zweitens die Stellungsänderung der beiden verticalen Netzhautmeridiane zu einander bei der gleichen Lageänderung der Sehaxen, immer diese Stellungen projicirt gedacht auf eine und dieselbe der Gesichtsebene parallele Verticalebene. Bei der ersteren Bestimmung wurde das eine Auge geschlossen gehalten, während das andere den farbigen Streifen zur Hervorrufung des Nachbildes betrachtete, bei der letzteren Bestimmung wurde das Nachbild in beiden Augen gleichzeitig erzeugt. Beide Versuchsweisen entsprachen sich also vollkommen und liessen übereinstimmende Resultate erwarten, der einzige Umstand, worin sie abwichen, war der, dass im einen Fall die Incongruenz in der Stellung beider Augen in Bezug auf das gewählte Sehfeld abgeleitet werden sollte aus der ermittelten Stellung jedes einzelnen Auges, und dass im andern Fall diese Incongruenz direct durch die gleichzeitige Benutzung beider Augen sollte beobachtet werden.

Es ergiebt sich jedoch bei diesen Versuchen eine höchst bemerkenswerthe Abweichung von dem erwarteten Resultate. Erzeugt man nämlich in beiden Augen gleichzeitig das verticale Nachbild, und führt man dann die Augen in ihre neue Stellung über, so sollte vermuthet werden, dass das vorher gemeinsame Nachbild sich nun in zwei getrennt hat, die sich im Fixationspunkte kreuzend denselben Winkel mit einander einschliessen, welchen die in zwei auf einander folgenden Versuchen beobachteten

getrennten Nachbilder des einen und des andern Auges mit einander bilden. Dies ist aber nicht der Fall, sondern das gemeinsame Nachbild beider Augen bleibt in jeder neuen Stellung gemeinsam. Untersucht man aber die Neigung zum Horizont, die dasselbe in den verschiedenen Stellungen der Augen erfährt, so findet man, dass es immer eine zwischen den einzelnen Nachbildern beider Augen in der Mitte befindliche Lage einnimmt. Es kann somit das Einfachsehen des binokularen Nachbildes nicht etwa dadurch zu Stande kommen, dass das eine der es zusammensetzenden Nachbilder auf Kosten des andern übersehen wird, sondern das binokulare Nachbild muss wirklich ein gemeinsames sein, das durch Verschmelzung gebildet wird. Man kann sich von dieser Verschiedenheit der Lage des Nachbildes in beiden Fällen leicht überzeugen, wenn man zuerst das binokulare Nachbild betrachtet und dann das eine oder andere Auge schliesst; man sieht auf diese Weise jedes Mal das Nachbild seine Lage verändern, und bemerkt, dass das binokulare Nachbild die mittlere Richtung zwischen den zwei monokularen Nachbildern hat. Die Art, wie diese Verschmelzung geschieht, kann aber eine doppelte sein: entweder ist bei binokularem Sehen eine Differenz in den Stellungen der Augen im Vergleich mit ihren Stellungen bei monokularem Sehen in den entsprechenden Lagen der Sehaxen vorhanden, so dass die Netzhautmeridiane beider Augen immer eine übereinstimmende Richtung beibehalten; oder die Stellung der Augen beim binokularen Sehen ist nicht verschieden von der bei monokularem Sehen für jedes einzelne Auge gefundenen, es findet also die erwartete Incongruenz der Augenstellungen in Wirklichkeit statt, sie wird aber nicht bemerkt, weil in der Wahrnehmung die zwei wenig verschiedenen Bilder beider Augen sich mit einander vereinigen. Im ersten Fall würde also die beobachtete Verschmelzung auf einem physischen Gesetze beruhen, im zweiten Fall würde sie wahrscheinlich in einer psychischen Thätigkeit begründet sein.

Es würde voreilig sein, wenn man a priori über die grössere Wahrscheinlichkeit der einen oder der andern Erklärung urtheilen wollte. In der That scheint es von vornherein ganz gut denkbar zu sein, dass beide Augen beim binokularen Sehen ihre Stellungen nach einander einrichten, dass, nachdem jedes Auge die Lage angenommen hat, die für das monokulare Sehen ihm zukommt, unter dem Einfluss des gemeinschaftlichen Sehactes eine compensirende Augendrehung stattfindet, welche die vorhandene Incongruenz der Netzhautbilder zum Verschwinden bringt; es ist aber ebenso gut denkbar, dass die Incongruenz

in Wirklichkeit bleibt, und dass sie erst bei der Perception der Netzhautbilder sich aufhebt. Der einzige Umstand, der die letztere Annahme a priori etwas wahrscheinlicher macht, ist die grosse Constanz der Lage des Auges für jede einzelne Stellung der Sehaxe, welche die monokularen Sehversuche ergeben. Diese Constanz ist so gross, dass die Drehstellung des Auges vollkommen unveränderlich bleibt, auf welchem Weg auch die Sehaxe in ihre Lage gelangt sein mag; man kann es deshalb vielleicht unwahrscheinlich finden, dass der Einfluss des combinirten Sehens mächtig genug sein sollte, um einen Zusammenhang zu lösen, der so fest in der Muskelanordnung und Befestigungsweise des Augapfels begründet liegt, während wir hingegen dafür, dass in der Auffassung der Gesichtsempfindungen mannigfache Incongruenzen der Netzhautbilder zum Verschwinden kommen, viele anderweitige Belege besitzen.

Folgende Beobachtungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, die sich hieraus ergiebt, noch in bedeutendem Grade. Zunächst bemerkt man, dass das aus der Vereinigung zweier unter einem kleinen Winkel zu einander geneigter monokularer Nachbilder hervorgegangene binokulare Nachbild von diesen nicht blos darin sich unterscheidet, dass es auf die gleiche Sehfeldebene projicirt eine mittlere Lage zwischen denselben inne hat, sondern es nimmt auch insofern eine andere Lage im Raume ein, als es nicht in der gleichen Ebene zu liegen scheint, sondern sich aus der Ebene, in der die monokularen Nachbilder gelegen sind, nach der Tiefe des Raumes erstreckt, kurz: das binokulare Nachbild erscheint nicht blos einfach sondern auch s t e r e o s k o p i s c h. Man sieht nun leicht ein, dass zu dieser Erscheinung im Versuch die nothwendige Bedingung gegeben ist, denn in der That ist ja, vorausgesetzt dass die einfachen Nachbilder die Lage behalten, die sie bei den monokularen Bewegungen inne haben, der Fall derselbe, als wenn man zwei in ihrer Richtung von der verticalen wenig abweichende Linien, die unter einem geringen Winkel zu einander geneigt sind, im Stereoskop betrachtet. Im einen wie im anderen Falle erhält man zwei verschiedene perspectivische Ansichten eines und desselben Gegenstandes zur Auffassung, aus denen man sich die Vorstellung der Tiefenausdehnung zu bilden vermag.

Hiernach wird Mancher vielleicht erwarten, dass bei der Benützung horizontaler Nachbilder die ganze Erscheinung verschwinde, dass hier, da wir nicht im Stande sind annähernd horizontale Linien von etwas verschiedener Neigung zu einem

stereoskopischen Bild zu vereinigen, der Winkel vielleicht direct beobachtet werden könne, welchen zwei Meridiane der Netzhaut auf die gewählte Sehfeldebene projicirt mit einander einschliessen. Aber man findet auch bei der Benützung horizontaler Nachbilder zu den Versuchen, dass die Nachbilder beider Augen zu einem gemeinsamen Nachbild, das eine mittlere Lage zwischen jenen einnimmt, verschmelzen, obgleich hier die stereoskopische Erscheinung nicht eintritt. Bei einer näheren Kenntniss der Bedingungen, unter welchen ein Verschmelzen der Gesichtsempfindungen beider Netzhäute stattfindet, kann aber auch dieses Resultat nicht in Erstaunen setzen, da anderweitige Versuche, auf die wir später zurückkommen werden, lehren, dass, wenn die Verschiedenheit in der Lage der beiden Netzhautbilder innerhalb gewisser Grenzen bleibt, sie auch dann vereinigt werden können, wenn sie nicht im Stande sind die stereoskopische Täuschung hervorzurufen.

Die Lageverschiedenheit der Nachbilder, die im vorliegenden Fall in Betracht kommt, bleibt aber immer so gering, dass sie nie jene Grenze überschreitet, innerhalb deren unter diesen Umständen noch eine Vereinigung möglich ist.

Es kann dagegen durch eine der obigen ganz ähnliche Versuchsweise die Incongruenz in der Stellung beider Augen direct wahrnehmbar gemacht werden. Dies ist der Fall, wenn man nicht Nachbilder benützt, sondern wenn man unmittelbar eine feine verticale oder horizontale Linie betrachtet, die man in das gewählte Sehfeld gezeichnet hat. Bei vorhandener Incongruenz der Augen muss das Bild aller Punkte dieser Linie mit Ausnahme des fixirten Punktes auf verschiedene Stellen beider Netzhäute fallen, und es ist daher zu erwarten, dass die Linie in Doppelbildern erscheint, die im fixirten Punkte sich kreuzen. Dieser Erfolg tritt nun, wenn man die Sehaxen in starke Convergenz bringt, um dadurch ausgiebige Drehungen um die Sehaxe nach entgegengesetzten Richtungen zu erzielen, in der That ein: man sieht die betrachtete Linie, sei sie vertical oder horizontal, meistens in gekreuzten Doppelbildern, die einen Winkel von wenig Graden zwischen sich einschliessen. Es ist diese Erscheinung in Bezug auf verticale Linien beiläufig schon von J. Müller beobachtet, aber unrichtig erklärt worden*), von Meissner wurde sie später auf ihren wahren Grund zurückgeführt und in ausgedehnter Weise zur Bestimmung der Augenstellungen benützt.**) Auch

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. S. 183.
**) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.

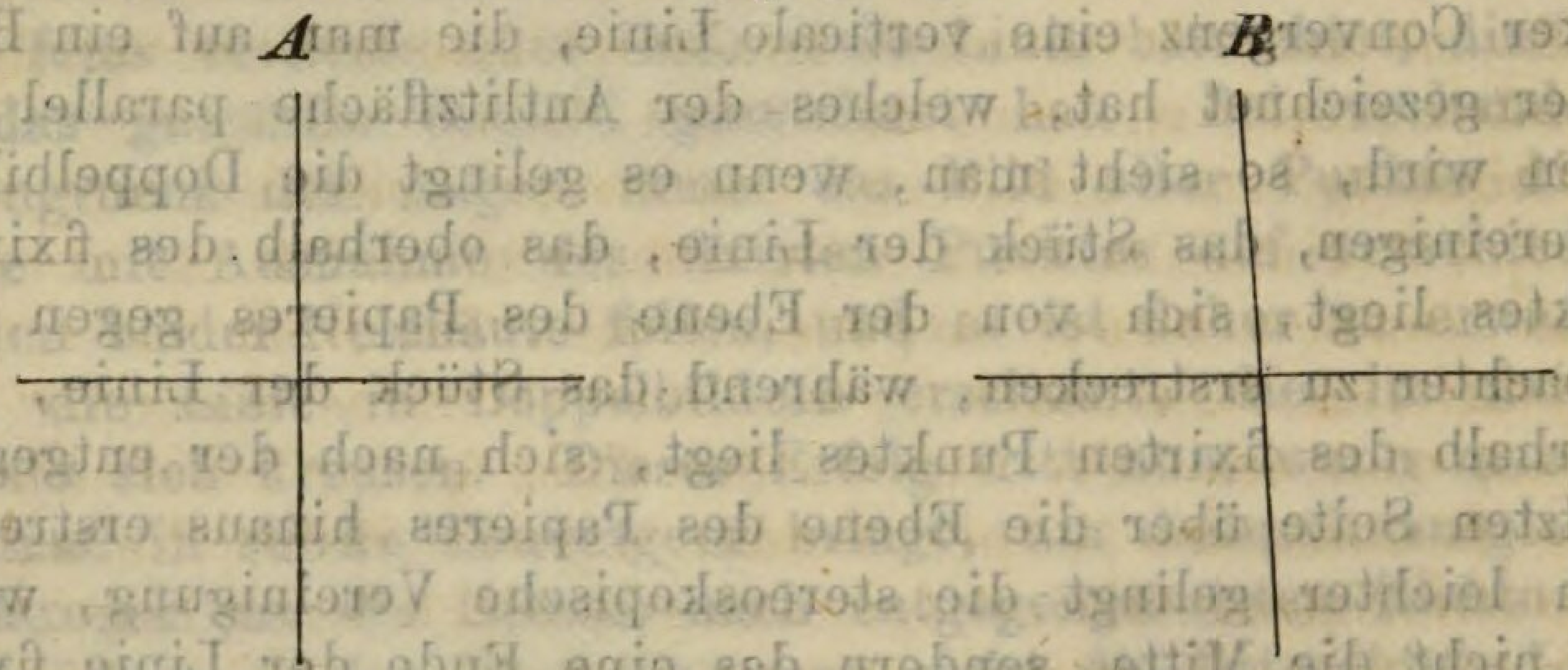
wird man alsbald geneigt sein dieser Versuchsweise wenigstens zur Ermittelung der combinirten Augenstellungen vor der Methode der Nachbilder, bei der es sich wegen der erörterten Verschmelzung der gemeinsamen Nachbilder nur um eine successive Bestimmung der Stellung beider Augen handeln kann, den Vorzug zu geben, weil sie die Resultate unmittelbarer liefert. Doch überzeugt man sich leicht, dass auch bei ihr eine Messung der kleinsten Winkel nicht mehr möglich ist, weil die Doppelbilder die Neigung haben mit einander zu verschmelzen. Dies geht schon daraus hervor, dass die Doppelbilder erst bei sehr starken Convergenzgraden merklich werden, während die successive Bestimmung der Stellung jedes einzelnen Auges ergiebt, dass in Wirklichkeit vermuthlich schon bei viel geringeren Convergenzgraden eine Incongruenz der Augenstellungen vorhanden ist. Es geht dies aber weiterhin auch daraus hervor, dass es selbst bei starken Convergenzgraden, wo die gekreuzten Doppelbilder gewöhnlich sehr deutlich erscheinen, zuweilen möglich wird dieselben zu vereinen, und zwar erscheint dann bei Betrachtung einer verticalen Linie das vereinigte Bild stereoskopisch, ebenso wie unter den gleichen Verhältnissen das gemeinsame Nachbild. Man kann selbst bei ziemlich bedeutender Divergenz der verticalen Doppelbilder die Vereinigung erzwingen, wenn man sich zuvor die stereoskopische Vorstellung bildet. Betrachtet man z. B. bei starker Convergenz eine verticale Linie, die man auf ein Blatt Papier gezeichnet hat, welches der Antlitzfläche parallel gehalten wird, so sieht man, wenn es gelingt die Doppelbilder zu vereinigen, das Stück der Linie, das oberhalb des fixirten Punktes liegt, sich von der Ebene des Papieres gegen den Beobachter zu erstrecken, während das Stück der Linie, das unterhalb des fixirten Punktes liegt, sich nach der entgegengesetzten Seite über die Ebene des Papieres hinaus erstreckt. Noch leichter gelingt die stereoskopische Vereinigung, wenn man nicht die Mitte, sondern das eine Ende der Linie fixirt. Betrachtet man z. B. das untere Ende der Verticallinie, so scheint dieselbe sich vom Fixationspunkt gegen den Beobachter zu erstrecken, betrachtet man das obere Ende der Linie, so scheint dieselbe sich vom Beobachter zu entfernen und jenseits des Fixationspunktes zu liegen.

Der Grund dafür, dass die Doppelbilder einer Linie eher auseinander treten als die einzelnen Nachbilder beider Augen, liegt auf der Hand. Eine Linie kann man fast beliebig fein ziehen, und in der That muss die Linie auch äusserst fein sein, um bei diesen Versuchen Doppelbilder zu geben; bei

der Wahl der farbigen Streifen, die man zur Hervorrufung der Nachbilder benützt, darf man aber nie bis zu dieser äussersten Grenze gehen, weil man sonst die Deutlichkeit des Nachbildes allzu sehr beeinträchtigt. — Trotzdem sieht man, dass auch durch die Doppelbilderversuche darüber, ob es compensirende Augendrehungen giebt, welche beim combinirten Sehen die Stellungen beider Netzhäute übereinstimmend machen, oder nicht, keine sichere Entscheidung gegeben ist. Es kann zwar durch dieselben als sicher festgestellt betrachtet werden, dass bei starken Convergenzstellungen der Sehaxen meistens eine Incongruenz der Netzhäute vorhanden ist, ob aber dies auch in Bezug auf schwächere Convergenzstellungen gilt, bleibt in Frage. Ebenso ist vielleicht nicht Jeder geneigt, in dem Auftreten der stereoskopischen Erscheinung bei der Vereinigung der durch stärkere Convergenzen hervorgebrachten Doppelbilder einen genügenden Beweis dafür zu sehen, dass diese Vereinigung lediglich in einer psychischen Thätigkeit ihren Grund hat ohne Hinzutreten einer bestimmten physischen Ursache.

Weit mehr noch spricht für das Fehlen solcher compensirender Augendrehungen folgender Versuch, der von Herrn Prof. Helmholtz ersonnen wurde. Man zeichne neben einander zwei gleich grosse Kreuze, Fig. 2, deren horizontale

Fig. 2.



Schenkel vollkommen in derselben Linie liegen, deren verticale Schenkel aber um sehr wenig zu einander geneigt sind, indem die verticale Linie in A zur horizontalen senkrecht steht, in B etwas von 90° abweicht. Sucht man beide Kreuze durch Schielen zu vereinigen, so gelingt dies vollkommen, es decken sich nicht blos die horizontalen, sondern auch die verticalen Schenkel der Kreuze, vorausgesetzt dass die Richtungsverschiedenheit der letztern nicht eine gewisse Grenze überschreitet. Auch hier erhält man von der Verticallinie ein stereoskopisches Bild. Man kann aber auch ohne den Einfluss des stereos-

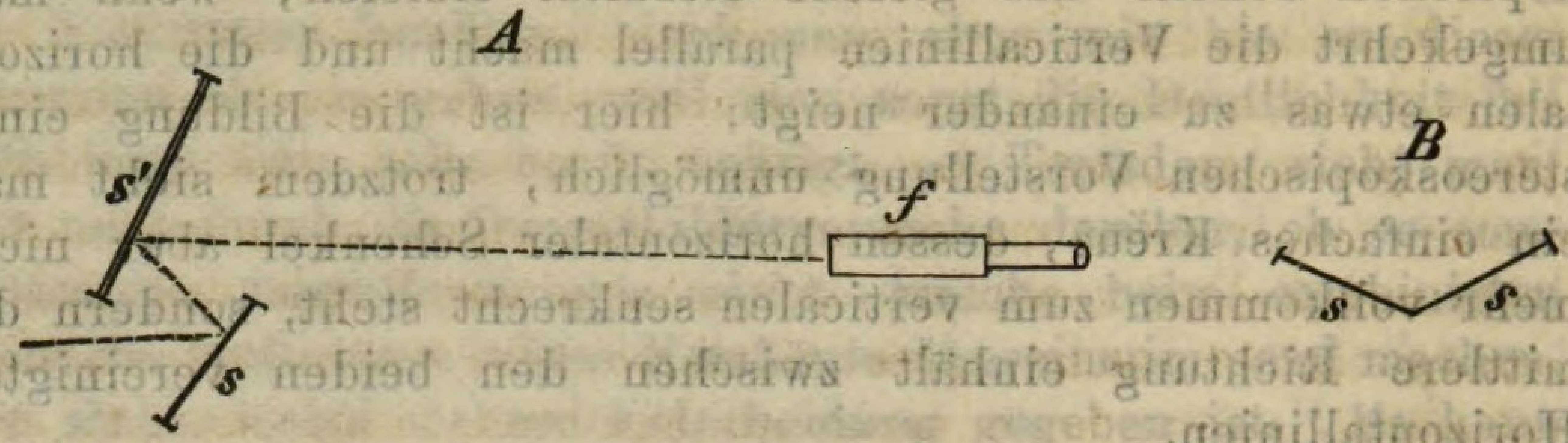
kopischen Sehens das gleiche Resultat erzielen, wenn man umgekehrt die Verticallinien parallel macht und die horizontalen etwas zu einander neigt; hier ist die Bildung einer stereoskopischen Vorstellung unmöglich, trotzdem sieht man ein einfaches Kreuz, dessen horizontaler Schenkel aber nicht mehr vollkommen zum verticalen senkrecht steht, sondern die mittlere Richtung einhält zwischen den beiden vereinigten Horizontallinien.

Es ist klar, dass bei diesem Versuch nicht die Rede sein kann von einer compensirenden Augendrehung, durch welche wirklich die Bilder der verschieden gerichteten Linien auf übereinstimmende Netzhautmeridiane zu liegen kämen, denn durch eine solche Drehung würde alsbald die Deckung der beiden anderen Linien aufgehoben, und es müssten nun diese unter demselben Winkel zu einander geneigt erscheinen, welchen die ersteren in Wirklichkeit mit einander bilden. In diesem Versuch findet also ohne alle Frage eine Vereinigung statt, ohne dass diese durch eine physische Ursache ermöglicht wurde. Trotzdem dies als ein bedeutender Beweis dafür angesehen werden kann, dass auch die früher erörterte Vereinigung der Nachbilder und der Doppelbilder nicht in Abänderungen der Stellungen beider Augen zu einander begründet liegt, so habe ich es doch noch für nöthig erachtet, diese Frage, die für das ganze Gebiet dieser Untersuchungen von der höchsten Wichtigkeit ist, durch directe Beobachtungen zur Entscheidung zu bringen.

Hierzu musste der Weg subjectiver Versuche verlassen werden. Auf diesem liess sich mehr nie erreichen, als das Fehlen compensirender Augendrehungen im höchsten Grade wahrscheinlich zu machen, ein directer Beweis war aber unmöglich, weil eben der Grund, der diese ganze Untersuchung nöthig machte, die Ungenauigkeit unserer Wahrnehmung in Bezug auf Netzhautbilder von wenig verschiedener Lage, bei den subjectiven Versuchen immer vorhanden blieb. Es war daher nöthig, eine Methode aufzufinden, durch welche die Stellungen beider Augen auf's Genaueste objectiv beobachtet werden und die Stellungen jedes einzelnen für die gleiche Lage der Sehaxen bei monokularem und bei binokularem Sehen verglichen werden konnten. Ich erreichte dies durch folgende Versuchsanordnung, Fig. 3.

Zwei ebene Spiegel, *s s*, ohne Fassung sind unter einem stumpfen Winkel so zu einander geneigt, dass sie mit ihrer inneren Kante dicht an einander stossen. Jeder Spiegel ist an einer Verticalaxe befestigt, um welche er drehbar ist, so

Fig. 3.



dass der Neigungswinkel beider Spiegel zu einander beliebig verringert oder vergrössert werden kann; beide Spiegel können überdies mit einander um eine horizontale Axe gedreht werden. Oberhalb der Spiegel *s s*, die in Fig. 3 A mit der ganzen Versuchsvorrichtung im Aufriss, in B für sich im Grundriss gezeichnet sind, ist ein Spiegel *s'* befestigt, der um eine horizontale Axe drehbar ist. Die spiegelnden Flächen der Spiegel *s s* und *s'* sind sich zugekehrt. In angemessener Entfernung von *s'* ist das Fernrohr *f* aufgestellt, durch das der Beobachter sieht. Der Kopf des beobachteten Individuums ist hinter *s s* durch eine angemessene Vorrichtung, durch die Kinn und Nase unterstützt wird, so fixirt, dass das Bild seiner Augen von den Spiegeln *s s* entworfen wird. *s s* und *s'* werden so zu einander geneigt, dass das Bild in *s s* nach *s'* gelangt und dort mittelst des Fernrohrs beobachtet werden kann. In jedem der Spiegel *s s* wird, wenn deren Neigung zu einander eine gewisse Grösse hat, ein Bild von dem Gesicht des beobachteten Individuums entworfen. Verringert man die Neigung der Spiegel zu einander, so verschwindet allmälig an der Berührungskante der Spiegel, die den Winkel bildet, ein Theil jedes Bildes, bis schliesslich, wenn die Spiegel parallel liegen, nur noch e i n Bild vorhanden ist, von dem jedem Spiegel eine Hälfte angehört. Man kann nun leicht die Spiegel unter einem solchen Winkel zu einander einstellen, dass von den beiden Bildern so viel vorhanden bleibt, um an den inneren sich zugekehrten Seiten der Bilder gerade noch die Hälften eines Auges sichtbar zu lassen. Man sieht dann im Ganzen drei Augen in den Spiegeln, eines im Spiegel zur Rechten, eines im Spiegel zur Linken des Beobachteten, und eines in der Mitte, von welchem jedem Spiegel eine Hälfte angehört. Das erste ist das Bild des rechten Auges, das zweite das Bild des linken Auges, das letzte aber ist aus einem halben rechten und einem halben linken Auge zusammengesetzt. Auf das Bild dieses zusammengesetzten Auges im Spiegel *s'* stellt man nun das Fernrohr ein, um es zu beobachten. Man sucht in jeder Hälfte des Bildes irgend einen

leicht kenntlichen Streifen, z. B. ein Bindehautgefäss oder einen Farbenstreifen der Iris, auf und merkt sich den Winkel, welchen beide Streifen mit einander bilden; jede Veränderung dieses Winkels kann dann leicht beobachtet und gemessen werden, wenn man am Ocular des Fernrohrs einen getheilten Kreis mit Zeiger anbringt, und den einen Faden des Fadenkreuzes im Fernrohr nach einander mit jedem der beiden beobachteten Streifen zusammenfallen lässt; übrigens ist, wie sich zeigen wird, eine solche Messung für die folgenden Versuche überflüssig, und genügt es vollkommen an der einfachen Beobachtung der Stellung, welche die zwei Streifen zu einander einnehmen, da bei dem Zweck, zu welchem diese Versuchsmethode hier angewandt worden ist, es immer nur darauf ankam, eine etwaige plötzliche Stellungsänderung der Streifen überhaupt wahrzunehmen. Eine genaue Bestimmung jener Winkel würde aber nothwendig sein, wenn man die vorliegende Versuchsmethode zur wirklichen Messung der combinirten Augenstellungen verwenden wollte. Es würde dieselbe aber in diesem Fall noch mannigfache Abänderungen nothwendig machen, namentlich würde es alsdann gerathen erscheinen, noch eine Vorrichtung anzuwenden, bei welcher die Augen für jede Versuchsreihe in einem bestimmten Convergenzgrad fixirt blieben, und dann zur Hervorrufung der bei diesem Convergenzgrad möglichen Sehaxenstellungen nicht die Augen sondern der Kopf um gemessene Winkel gedreht würde, weil man im entgegengesetzten Falle erst durch umständliche Berechnung aus den beobachteten Werthen die wirklichen Augenstellungen würde erhalten können.

Zur Entscheidung der Frage, ob die Stellungen jedes einzelnen Auges beim binokularen Sehen im Allgemeinen verschieden sind von denjenigen, welche bei monokularem Sehen demselben zukommen, bietet sich zunächst folgende Versuchsweise. Nachdem man die Augen des Beobachteten in der gehörigen Weise mittelst der Spiegel eingestellt hat, lässt man denselben das eine Auge schliessen; dann lässt man das geöffnete Auge durch Anbringung eines zu fixirenden Punktes in irgend eine Stellung sich bewegen, bei der eine erhebliche Drehung um die Sehaxe stattfindet. Man merkt sich die Lage, in die der beobachtete Streifen der Bindehaut oder Iris sich gedreht hat, und bringt denselben zum sicherern Festhalten nöthigenfalls mit einem Faden des Fadenkreuzes zur Deckung. Jetzt lässt man das geschlossene Auge öffnen und den gleichen Punkt durch dasselbe fixiren und beobachtet, ob das erstbeobachtete Auge hierbei seine Stellung verändert

hat. Es lässt sich bei dieser Versuchsweise niemals auch nur die geringste Stellungsänderung des Auges beim Eintritt des binokularen Sehaktes bemerken, der beobachtete Streifen behält fortwährend die gleiche Lage, so lange das eine oder beide Augen den markirten Punkt fixiren.

Eine zweite Versuchsweise ist folgende. Man spannt zwei parallele verticale Fäden im Sehfeld des Beobachteten auf und lässt diesen durch Schielen die Fäden zur stereoskopischen Deckung bringen. Hierauf stellt man das Augenbild zur Beobachtung ein. Ist dies geschehen, so verändert man die Richtung des einen Fadens um sehr weniges, so dass beide nicht mehr parallel sind, dass sie aber noch gut zur Deckung gebracht werden können. Beobachtet man nun während dieser Richtungsänderung des Fadens die Augen, so lässt sich auch hier nicht die geringste Stellungsänderung an denselben wahrnehmen. Hier ist also objektiv der Beweis geliefert, dass zwei Linien von wenig verschiedener Richtnng einfach gesehen werden können, obgleich ihre Bilder nicht auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden. Beide Versuchsweisen beweisen unumstösslich, dass compensirende Augendrehungen zur Gleichstellung beider Augen nicht vorhanden sind, sondern dass jedes Auge beim binokularen Sehen genau die gleiche Lage einnimmt, die bei monokularem Sehen bei der vorhandenen Richtung der Sehaxe ihm zukommt.

Das Resultat dieser vorbereitenden Untersuchung ist nicht blos an sich von grosser Wichtigkeit, sondern es wird uns dasselbe auch im Folgenden noch häufig praktisch zu statten kommen, weil es uns erlaubt überall, wo sich der unmittelbaren Ermittelung der combinirten Augenstellungen Schwierigkeiten entgegensetzen, auf die Bestimmung der Stellungen jedes einzelnen Auges zurückzugehen, die immer verhältnissmässig leicht sich ausführen lässt. Streng genommen würden sogar die combinirten Augenstellungen jetzt eine besondere Untersuchung gar nicht mehr fordern, da sich in dieser Hinsicht Alles muss ableiten lassen aus den Thatsachen, die in Bezug auf das einzelne Auge ermittelt worden sind. In der That werden wir sehen, dass alle Versuche, die zur directen Bestimmung der combinirten Augenstellungen unternommen werden können, nur experimentelle Bestätigungen von Sätzen sind, die nach der Kenntniss der Stellungen des einzelnen Auges a priori sich einsehen lassen. Ich gehe deshalb hier nochmals auf die Untersuchung der Stellungen des einzelnen Auges zurück, um dem früher hierüber Erörterten einige für das combinirte Sehen wichtige Ergänzungen hinzuzufügen.

Gehen wir von der Ruhestellung des Auges aus, in welcher die Sehaxe gerade nach vorn gerichtet ist, so lässt die Richtung der Drehung, welche das Auge beim Uebergang aus dieser in irgend eine andere Stellung um seine Sehaxe erfährt, leicht sich festhalten. Bewegt sich das Auge nach innen (nasenwärts) und oben, so geschieht die Drehung so, dass das obere Ende des vorher verticalen Meridians der Netzhaut sich nach innen neigt; bewegt sich das Auge nach aussen (schläfenwärts) und oben, so erfährt derselbe Meridian umgekehrt eine Drehung nach aussen; geschieht die Bewegung nach innen und unten, so neigt sich der verticale Meridian der Netzhaut gleichfalls mit seinem oberen Ende nach aussen, und geschieht endlich die Bewegung nach aussen und unten, so ist die Neigung des genannten Meridians wieder nach innen gerichtet. Bei allen diesen Stellungsänderungen des Auges sind also die Drehungen um die Sehaxe von gleicher Richtung einerseits bei den Bewegungen nach aussen und oben und denen nach innen und unten, und andererseits bei den Bewegungen nach Innen und Oben und denen nach Aussen und unten. Man kann das ganze Gesetz am Einfachsten so ausdrücken: bei allen schrägen Bewegungen der Sehaxe nach oben ist die Drehung um die Sehaxe der Bewegung der Sehaxe gleich gerichtet, bei allen schrägen Bewegungen nach unten ist die Drehung um die Sehaxe der Bewegung der Sehaxe entgegengesetzt gerichtet. Strenge richtig ist dies Gesetz aber im Allgemeinen nur in Bezug auf Bewegungen von bedeutendem Umfang.

Wie verhält sich aber das Auge, wenn es nicht schräge Bewegungen ausführt, sondern wenn es in der verticalen oder horizontalen Ebene bleibt, die seine Anfangsstellung durchschneiden? Donders und Ruete haben angegeben, dass bei diesen Bewegungen gerade nach oben oder unten, sowie gerade nach aussen oder innen keine Drehung um die Sehaxe erfolge. Aus den Versuchen Meissner's über den Horopter war jedoch zu schliessen, dass solche Drehungen auch bei den Bewegungen gerade nach innen (den horizontalen Convergenzbewegungen des combinirten Sehens) erfolgen müssten, und Meissner hat dies in der That später durch nach anderer Methode angestellte Versuche bestätigt.*) Dagegen giebt auch

*) Zeitschrift f. rat. Med. 3. R. Bd. VIII. Die Methode, die früher schon von Fick zu Messungen angewandt wurde, besteht in der Bestimmung der Lageänderungen des blinden Flecks; sie erreicht jedenfalls die Methode der Nachbilder nicht an Genauigkeit. Donders und Ruete haben zwar die letztere angewandt, aber nicht in einer Weise, welche die

Meissner an, dass bei den Bewegungen gerade nach aussen, nach oben und nach unten keine auf die Sehaxe projicirte Drehung vorhanden sei.

Nach genauen Versuchen mit Nachbildern kann ich diese Angaben nicht bestätigen; ich finde vielmehr, dass bei sämmtlichen Horizontal- und Verticalbewegungen eine Drehung um die Sehaxe erfolgt, die zwar im Allgemeinen geringer ist als die Drehung bei den schrägen Bewegungen, aber doch bei einigermassen grösserem Bewegungsumfang hinreichend merkbar wird. Die Richtung dieser Drehung ist bei den einzelnen Bewegungen folgende: Bewegt sich das Auge gerade nach oben, so wird der verticale Meridian der Netzhaut etwas nach innen geneigt; bewegt sich das Auge gerade nach unten, so richtet sich der verticale Netzhautmeridian nach aussen; bei der Bewegung gerade nach Innen neigt sich der verticale Meridian nach Aussen, und bei der Bewegung gerade nach aussen neigt sich der verticale Meridian nach innen. Die Drehungen sind also von gleicher Richtung einerseits bei den Bewegungen nach oben und nach aussen und andererseits bei den Bewegungen nach unten und nach innen. Es ist ferner die Drehung bei den Bewegungen gerade nach oben und unten gleich gerichtet der Drehung bei den entsprechenden schrägen Bewegungen nach innen.

Mit der Drehung, die bei den horizontalen Bewegungen der Sehaxe vorhanden ist, hängt es wohl zum Theil zusammen, dass das oben für die schrägen Bewegungen aufgestellte Gesetz nur für einen bedeutenderen Bewegungsumfang Gültigkeit besitzt. Bei den Bewegungen der Sehaxe nach innen und oben (den Convergenzbewegungen nach oben) sind nämlich, wie man sieht, die Drehungen von entgegengesetzter Richtung als bei den Horizontalbewegungen nach innen. Bewegt man daher die Sehaxe so, dass sie wenig von der verticalen Bahn abweicht, so erhält man eine Drehung, die jener entgegengesetzt ist, welche bei schräger gehenden Bewegungen beobachtet wird. Ich werde auf diesen Punkt, der für einige Erschei-

Messung kleinerer Winkelabweichungen ermöglicht hätte. Donders drehte das Auge, bis ein in der Ausgangsstellung um einen bestimmten Winkel geneigtes Nachbild vertical war. (S. Holländische Beiträge von van Deen, Donders und Moleschott, Bd. I. S. 135). Ruete projicirte das Nachbild auf einen Transporteur, war also genöthigt, den Neigungswinkel im indirecten Sehen zu messen. (Ruete, Neues Ophthalmotrop S. 22.) Diese geringere Genauigkeit der Messungsmethode ist wahrscheinlich die Ursache, dass Beide die Drehungen bei der Vertical- und Horizontalbewegung der Sehaxe übersehen haben.

nungen des binokularen Sehens nicht ohne Wichtigkeit ist, weiter unten ausführlicher zurückkommen.

Es ergiebt sich aus den obigen Beobachtungen die wichtige Folgerung, dass es im Allgemeinen keine zwei Stellungen des Auges giebt, in welcher dasselbe nicht im Vergleich mit einer beliebig gewählten Ausgangsstellung eine Drehung um die Sehaxe erfahren hätte. Für sehr geringe Abweichungen des Auges aus der Anfangsstellung ist diese Drehung allerdings nicht mehr messbar, aber man kann annehmen, dass dies nur der Unvollkommenheit der Methoden zuzuschreiben ist, welche die Messung des Drehungswinkels erst zulässt, wenn derselbe eine gewisse Grösse erreicht. In Bezug auf das combinirte Sehen ist aber aus der obigen Thatsache zu schliessen, dass bei den meisten combinirten Augenstellungen irgend zwei Netzhautmeridiane im Vergleich mit einer beliebig gewählten Ausgangsstellung einen Winkel mit einander einschliessen, so dass eine Incongruenz in der Lage beider Augen vorhanden ist. Die Wahl der Ausgangsstellung, auf welche alle anderen Stellungen der Augen bezogen werden, ist wie gesagt von vornherein vollkommen willkürlich, es wird aber zweckmässig sein, für diese Untersuchungen diejenige Stellung zur Ausgangsstellung zu wählen, zu welcher die mechanische Analyse der Augenbewegungen und die physiologische Analyse der Gesichtsempfindungen hinführt. Beides trifft in diesem Fall zusammen und nöthigt uns diejenige Stellung zur Ausgangsstellung zu nehmen, die wir schon gelegentlich hierzu gewählt haben, nämlich die Stellung, in welcher die Sehaxen beider Augen in einer durch die Drehpunkte derselben gelegten Horizontalebene parallel und gerade nach vorn gerichtet sind.*) Dies ist für jedes einzelne Auge die Ruhestellung, in welcher sämmtliche Muskeln desselben unverkürzt bleiben, und für beide Augen ist es die Congruenzstellung, d. h. diejenige Stellung, bei welcher alle Strahlen, die von Punkten unendlicher Ferne kommen, in beiden Augen auf symmetrisch gelegenen Stellen sich abbilden.

*) Ich bemerke hier, um Missverständnissen vorzubeugen, dass im Folgenden überall die Annahme gemacht ist, Drehpunkt und Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen fielen in einen Punkt, den Mittelpunkt des sphärisch gedachten Augapfels, ich werde deshalb statt beider Bezeichnungen häufig auch schlechthin Mittelpunkt des Auges sagen. Diese Ungenauigkeit, deren Correction diese Untersuchungen zum Theil viel verwickelter machen würde, ist hier um so mehr erlaubt, als die dadurch bedingten Unrichtigkeiten so gering sind, dass sie bei der in diesem Gebiet möglichen Feinheit der Beobachtung nicht mehr in Rücksicht fallen.

Sobald beide Augen irgendwie aus dieser Stellung bewegt werden, erfährt jedes derselben eine Drehung um die Sehaxe, die nur in einem einzigen Fall in beiden gleich gerichtet und auch, wenn jedes einzelne Auge sich um den gleichen Winkel dreht, annähernd von gleicher Grösse ist, so dass dann trotz der Drehung um die Sehaxe die Congruenz in der Stellung beider Augen vorhanden bleibt. Dieser Fall tritt dann ein, wenn beide Augen in der Horizontalebene bleibend sich um gleiche Winkel nach rechts oder links drehen. Hierbei bewegt sich das eine Auge nach aussen, wenn das andere sich um gleich viel nach innen bewegt, und in beiden Augen ist daher die Drehung um die Sehaxe von gleicher Richtung und gleicher Grösse. Diese Horizontalbewegungen, bei denen die Sehaxen in unendliche Ferne gerichtet bleiben, sind aber die einzigen für die Augen überhaupt ausführbaren, wo in der beschriebenen Weise die Congruenz der Augenstellungen erhalten ist. Selbst bei den reinen Verticalbewegungen nach oben oder unten, bei denen gleichfalls der Blick in unendliche Ferne gerichtet bleibt, stellt sich eine Incongruenz ein, weil jedes Auge eine geringe Drehung um die Sehaxe erfährt und beide Drehungen nach entgegengesetzter Richtung gehen.

Nachdem jetzt das nothwendige vorbereitende Material gewonnen ist, gehe ich zur eigentlichen Untersuchung der combinirten Augenstellungen über. Wir sahen, dass der Winkel, um welchen das einzelne Auge sich um seine Sehaxe gedreht hat, direct beobachtet werden kann, wenn man die Netzhaut desselben auf eine zur Sehaxe fortwährend senkrecht bleibende Ebene projicirt denkt. Der Winkel, um welchen dann irgend ein Netzhautmeridian, den man durch Hervorrufung eines Nachbildes auf demselben kenntlich gemacht hat, beim Uebergang aus der Ruhestellung in die neue Lage sich drehte, ist unmittelbar der gesuchte Winkel. Aendert man nun die Lage der Projectionsebene, so dass sie nicht mehr zur Sehaxe senkrecht bleibt, so verändert man damit natürlich auch die scheinbare Grösse des Drehungswinkels, und es kann nun der wahre Drehungswinkel nicht mehr direct abgelesen, sondern aus dem beobachteten Winkel nur auf dem Wege der Rechnung erhalten werden, nachdem man zuvor die Lage der Projectionsebene ermittelt hat. Es ist nun klar, dass beim binokularen Sehen von einer directen Beobachtung des Winkels, um den sich jedes einzelne Auge gedreht hat, nicht die Rede sein kann, da es, parallele Stellung der Sehaxen ausgenommen, keine Ebene giebt, die gleichzeitig auf beiden Sehaxen senkrecht steht; es ist folglich auch unmöglich direct,

etwa an der Neigung von Nachbildern oder von Doppelbildern, die Stellung der beiden Augen zu einander zu beobachten, sondern man kann immer nur beide Winkelabweichungen auf irgend eine beliebig gewählte Ebene beziehen, die zu den auf die zwei Sehaxen senkrechten Ebenen eine bekannte Lage einnimmt.

Wir wählen im Folgenden hierzu diejenige Ebene, die auf der Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrecht steht. Diese Ebene, die zu beiden Sehaxen symmetrisch gelegen ist, nennen wir der Kürze halber binokulares Sehfeld, während wir als monokulares Sehfeld die auf der einzelnen Sehaxe senkrechte Ebene bezeichnen.*)

Es ist nun leicht einzusehen, dass die Drehungen, welche beide Augen um die Sehaxen erfahren haben, in der Projection auf das binokulare Sehfeld sich sehr verändern. Man denke sich in der Ruhestellung des Auges im monokularen Sehfeld eine verticale und horizontale Axe gezogen, die bei den Bewegungen des Auges sich mit diesem Sehfeld bewegt, entsprechende Axen denke man sich durch jedes binokulare Sehfeld gelegt. Bleibt nun das Auge bei seinen Bewegungen in der ursprünglichen Horizontalebene, so fällt fortwährend die verticale Axe der monokularen Sehfelder mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes zusammen, und auch die horizontale Axe des monokularen Sehfeldes trifft, auf das binokulare Sehfeld projicirt, mit der horizontalen Axe des letztern zusammen: bei den Horizontalbewegungen giebt somit die in der Projection auf das binokulare Sehfeld beobachtete Drehung eines oder beider Augen unmittelbar die wirkliche Drehung um die Sehaxe an. — Aehnlich verhält es sich, wenn die Sehaxen in allen Stellungen die parallele Richtung beibehalten, da hier fortwährend das binokulare Sehfeld mit den monokularen Sehfeldern zusammenfällt.

Anders dagegen ist es, wenn die Augen sich in eine Convergenzstellung bewegen, die nicht in der ursprünglichen Horizontalebene liegt. Dies entspricht einer schrägen Stellung jedes einzelnen Auges. Denkt man sich in diese Stellung

*) Von Meissner (Zeitschr. f. rat. Med. Bd. VIII. p. 9) ist eine Ebene, die im fixirten Punkt senkrecht zur Visirebene steht und immer der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallel bleibt, als binokulares Sehfeld bezeichnet worden. Die Wahl dieser Ebene ist aber vollkommen willkürlich, sie besitzt keine Eigenschaft, wodurch sie in Bezug auf binokulares Sehen eine ähnliche Bedeutung erhielte, wie das monokulare Sehfeld für ein einzelnes Auge, ihre Wahl ist ferner deshalb unzweckmässig, weil sie bei den asymmetrischen Augenstellungen zu den beiden Sehaxen asymmetrisch gelegen ist.

das monokulare Sehfeld mitbewegt, so weicht die verticale und horizontale Axe desselben von der verticalen und horizontalen Axe des binokularen Sehfeldes ab, und die Projectionen der ersteren Axen auf dieses Sehfeld bilden mit den Axen des binokularen Sehfeldes Winkel von bestimmter Grösse. Projicirt man also den verticalen oder horizontalen Netzhautmeridian bei diesen schrägen Stellungen auf das binokulare Sehfeld, so sind diese Projectionen zu den Axen des Sehfeldes geneigt, und die Projectionen beider Augen weichen nach entgegengesetzten Richtungen von einander ab, auch wenn gar keine Drehung um die Sehaxe stattgefunden hat, und umgekehrt, wenn eine Drehung stattgefunden hat, kann dieselbe in der Projection auf das binokulare Sehfeld verschwinden, indem verticale und horizontale Meridianprojection der Netzhaut mit den entsprechenden Axen dieses Sehfeldes zusammenfallen. Ueberhaupt muss, wenn die Projectionen auf das binokulare Sehfeld allein beobachtet wurden, hieraus die wirkliche Drehung um die Sehaxe erst berechnet werden, umgekehrt können aber auch, wenn die Drehungen um die Sehaxe bekannt sind, hieraus die Projectionen auf das binokulare Sehfeld gefunden werden.

Mittelst Nachbildern lassen die letzteren Projectionen leicht unmittelbar experimentell sich ermitteln. Man verschafft sich zu diesem Zweck in der Ruhestellung des Auges ein verticales Nachbild von hinreichender Dauer und bestimmt die Winkelabweichung, die dasselbe in den verschiedenen Convergenzstellungen in seiner Projection auf eine zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechte Ebene erfährt. Man muss hierbei nur im e i n e n Auge sich ein Nachbild verschaffen, da bei einem gemeinsamen Nachbild die früher erwähnte stereoskopische Verschmelzung meist die Beobachtung hindert. Man findet auf diese Weise, dass bei der Bewegung gerade nach innen (der horizontalen Convergenz) der verticale Meridian nach aussen gedreht ist, ganz entsprechend der wirklich stattfindenden Drehung um die Sehaxe. Bei der Bewegung nach innen und oben (der Convergenz nach oben) ist der verticale Meridian nach aussen geneigt, also entgegengesetzt der wirklichen Drehung des Auges, wenigstens bei den stärkeren Convergenzgraden. Verwickelter ist die Sache bei der Bewegung nach innen und unten. In jeder Stellung der Visirebene unterhalb des Horizonts ist bei den schwächeren Convergenzgraden der verticale Meridian nach aussen geneigt, diese Neigung nimmt mit Zunahme der Convergenz zuerst zu,

dann aber ab, wird Null und geht endlich bei der stärksten Drehung des Auges in die Neigung nach innen über. Hier ist also bei den weniger umfangreichen Bewegungen die Neigung der Meridianprojection gleich gerichtet der wirklichen Drehung, bei den umfangreicheren Bewegungen aber entgegengesetzt gerichtet. Dabei liegt aber der Punkt, wo die Neigung nach aussen in die Neigung nach innen übergeht, in den verschiedenen Stellungen der Visirebene an einem sehr verschiedenen Orte. Ist die Visirebene wenig unter den Horizont geneigt, so ist hierzu ein Bewegungsumfang des Auges erforderlich, bei dem gar keine symmetrische Convergenzstellung mehr möglich ist; bei stärkeren Neigungen der Visirbene tritt die Abweichung nach innen schon bei sehr geringem Contractionsumfange ein.

Es wurde oben erwähnt, dass auch bei den Bewegungen des Auges gerade nach oben und gerade nach unten sehr schwache Drehungen um die Sehaxe vorhanden sind. Diese Drehungen sind nun bei den Stellungen des Auges unter dem Horizont gleich gerichtet der Neigung, welche die Meridianprojection im binokularen Sehfeld bei geringeren Convergenzgraden zeigt. In den Stellungen der Augen unter dem Horizont hat daher die Meridianprojection eine Abweichung von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes erfahren, selbst im Parallelismus der Sehaxen, und zwar ist jene Abweichung immer nach aussen gerichtet. Bei der horizontalen Stellung der Visirebene ist, wenn die Sehaxen parallel gerichtet sind, keine Drehung um die Sehaxe vorhanden, daher auch keine Abweichung der Meridianprojection, diese beginnt erst bei einem bestimmten Grad der Convergenz, sie ist nach aussen gerichtet und wächst mit der Zunahme des Convergenzwinkels. Dagegen ist bei den Neigungen der Visirebene über dem Horizont und paralleler Stellung der Sehaxen die Drehung um die Sehaxe nach innen gerichtet. Auch die Meridianprojection auf das binokulare Sehfeld, das ja hier mit dem monokularen zusammenfällt, muss daher bei dieser Stellung die entsprechende Abweichung zeigen. Aber sobald die Sehaxen um ein Minimum convergiren, tritt alsbald die Abweichung nach aussen ein, die mit wachsender Convergenz in starkem Grade zunimmt.

Die obige Betrachtung über das Verhalten der Meridiane der Netzhaut in ihrer Projection auf das binokulare Sehfeld sind für das binokulare Sehen von grosser Bedeutung. Für dieses kommen die wirklichen Drehungen um die Sehaxe nicht in Betracht, da die monokularen Sehfelder, in welchen dieselben allein unmittelbar zu Tage treten, bei allen Convergenzen

für beide Augen verschieden sind. Unser gemeinsames Sehen beziehen wir, wo es sich nicht um Tiefenwahrnehmungen handelt, am einfachsten auf jene Ebene, die wir das binokulare Sehfeld genannt haben, wo eine andere Ebene in Betracht kommt, wie dies allerdings in unzähligen Fällen geschieht, lässt die hierdurch bedingte Veränderung in den Meridianprojectionen leicht sich bestimmen. Dabei ist die Wahl jenes binokularen Sehfeldes übrigens streng genommen willkürlich, denn wir können ja jede Ebene binokular betrachten und jedesmal werden die Netzhautbilder sich verschieden zu einander verhalten, aber es liegt doch die Wahl jener auf die Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechten Ebene am nächsten, weil sie die einzige Ebene ist, die symmetrisch zu den beiden Sehaxen steht, und für die jedes Auge sich gleichmässig zum deutlichen Sehen accommodiren kann. Aber die Abweichungen der Meridianprojectionen auf diese Ebene, wie auf jede andere gemeinsame Sehebene sind nicht zu verwechseln mit der wirklichen Drehung um die Sehaxe. Es ist, wie erörtert, eine Abweichung der Meridianprojectionen zu finden, wenn gar keine Drehung um die Sehaxe vorhanden ist, und es giebt umgekehrt eine gewisse Grösse der Drehung, bei der keine Abweichung der Meridianprojectionen besteht. Die Drehung um die Sehaxe ist nur von Einfluss auf diese Abweichung, die aber überdies durch die Lage der betreffenden Ebene bestimmt wird*).

*) Ich hebe dies besonders deshalb hervor, weil zuweilen eine auf die Sehaxe projicirte Drehung in Bezug auf binokulares Sehen der auf die Sehaxe projicirten Drehung in Bezug auf monokulares Sehen, unter welcher letztern man die wirkliche Drehung um die Sehaxe verstand, entgegengesetzt wurde. Eine solche Bezeichnung kann zu Missverständnissen Veranlassung geben. Es giebt nur eine auf die Sehaxe projicirte Drehung, und diese kann unmittelbar beobachtet werden, wenn man das Netzhautbild projicirt auf eine zur Sehaxe senkrechte Ebene (das sog. monokulare Sehfeld), projicirt man das Netzhautbild auf irgend eine andere Ebene, so kann man damit die Drehung des Auges auf eine andere Drehungsaxe, die zur gewählten Ebene senkrecht steht, projicirt denken, wie ja überhaupt die Wahl der Drehungsaxe im Auge streng genommen ganz willkürlich ist, man kann aber in diesem Fall nicht mehr von einer auf die Sehaxe projicirten Drehung reden. Ueberdies schliesst der Ausdruck „Drehung um die Sehaxe in Bezug auf binokulares Sehen“ die Missdeutung in sich, als wenn das binokulare Sehfeld ein fest bestimmtes sei, was, wie oben bemerkt, keineswegs der Fall ist, sondern man muss in jeder beliebigen Lage des Auges sich die Netzhautmeridiane auf jede beliebige gemeinsame Sehebene projicirt denken, wenn man das Material für die Beantwortung aller Fragen, die beim binokularen Sehen in Betracht kommen, gewinnen will, aber es ist für diese Untersuchung allerdings bequem, von einer bestimmten gemeinsamen Sehebene auszugehn, und es liegt bei dieser Wahl am nächsten diejenige Ebene zu nehmen, die wir oben als binokulares Sehfeld bezeichnet haben.

Man kann nun die Abweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld unmittelbar bestimmen, indem man direct den Winkel misst, den eine derselben mit der entsprechenden Axe des Sehfeldes einschliesst. Man kann aber auch auf indirectem Wege jene Abweichung bestimmen, indem man den Winkel misst, um welchen das binokulare Sehfeld um eine auf der ersten senkrecht stehende Axe gedreht werden muss, damit die Abweichung zum Verschwinden komme. Diese Methode ist einer grösseren Schärfe fähig, ich will daher die nach derselben anzustellenden Versuche hier etwas näher erörtern, da ausserdem diese Versuche unmittelbar Aufschluss geben über die Art, wie die Abweichung der Meridianprojectionen sich ändert, wenn man die Lage der Projectionsebene ändert.

Zur Beobachtung der Projectionen irgend welcher Netzhautmeridiane auf beliebige Ebenen eignen sich complementäre Nachbilder. Man befestige auf einem violetten Papierbogen einen feinen gelben Streifen z. B. in verticaler Richtung und bringe den Papierbogen in eine solche Entfernung, dass der gelbe Streifen von beiden Augen in einer schwachen Convergenzstellung fixirt wird. Betrachtet das ausgeruhte Auge diesen Streifen in vollkommen starrer Haltung 10—15 Secunden lang, so wird ein complementäres Nachbild desselben von hinreichender Intensität und Dauer hervorgerufen. Schiebt man vor den violetten Bogen plötzlich ein weisses oder graues Papier, so erscheint das Nachbild auf demselben als intensiv violetter verticaler Streifen. Hat man auf dem weissen Papier eine verticale Linie gezogen, die mit dem Nachbild zusammenfällt, so lässt sich, wenn man die Augen in eine andere Stellung bewegt, oder wenn man die Lage der Projectionsebene ändert, leicht die Abweichung des Nachbildes des einen Auges von Verticalismus, während man das andere geschlossen hält, genau erkennen, und es lässt sich die Veränderung jener Abweichung, wenn man die Projectionsebene dreht, leicht beobachten. Die Nachbilder beider Augen gleichzeitig zu beobachten geht in diesem Fall deshalb nicht an, weil wieder die stereoskopische Verschmelzung der Nachbilder daran hindert.

Man kann sich die hier zur Anwendung kommenden Gesetze der perspectivischen Projection am anschaulichsten vorführen, wenn man nicht die Lage des Auges und des binokularen Sehfeldes verändert, sondern beide in ihrer Anfangstellung lässt und sich unmittelbar ein Nachbild producirt, das um irgend einen willkürlich gewählten Werth von der verticalen oder horizontalen Richtung abweicht, und wenn man dann diese

Abweichung durch Drehung des binokularen Sehfeldes verändert. Man klebt also den gelben Streifen in schiefer Richtung auf, schiebt, nachdem er hinreichend lange fixirt wurde, den weissen Papierbogen vor ihn und dreht dann diesen um seine verticale oder horizontale Axe.

Bei der letztgenannten Versuchsweise ist es auch möglich, die Veränderungen der Meridianprojectionen beider Augen gleichzeitig zu beobachten. Man befestige zwei gelbe Papierstreifen in einem Abstand von einander, der nahezu der Distanz der Augen entspricht, und gebe beiden eine bestimmte Neigung zu einander. Man fixire dann mit jedem Auge einen der Streifen, während man zwischen dieselben eine Scheidewand hält, um Doppelbilder zu verhindern. Hat man hinreichend lange fixirt, so entfernt man die Scheidewand und schiebt den Papierbogen vor. Fixirt man jetzt einen bestimmten Punkt, so kreuzen sich die zwei Nachbilder in diesem, und man kann den Winkel des Kreuzes durch Drehung des Bogens beliebig verändern oder ganz zum Verschwinden bringen.

Zieht man nur ein einzelnes Auge in Betracht, so lässt sich die Abweichung jeder einzelnen Meridianprojection von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes durch eine bestimmte Drehung des letzteren um eine auf die erste senkrechte Axe zum Verschwinden bringen. Der Winkel, welchen die Projection des verticalen Meridians mit der verticalen Axe der Ebene einschliesst, wird z. B. zu Null, wenn man dieselbe um ihre horizontale Axe nach der geeigneten Richtung hin um einen bestimmten Winkel dreht. Hierbei ist aber der Winkel, welcher die Projection des horizontalen Meridians mit der horizontalen Axe der Ebene einschliesst, nahezu unverändert geblieben. Wollte man diesen zum Verschwinden bringen, so müsste man umgekehrt die Ebene von ihrer Anfangsstellung aus um ihre verticale Axe um den gleichen Winkel drehen, und dann wäre die Neigung des verticalen Meridians nahezu unverändert geblieben. Auf diese Weise kann die Winkelabweichung jedes beliebigen Meridians einzeln zum Verschwinden gebracht werden, vorausgesetzt, dass dieselbe (was beim Auge natürlich niemals auch nur annähernd erreicht wird) nicht über 45^0 beträgt, in diesem Fall bekommt nämlich die Drehung der Projectionsebene den Grenzwerth von 90^0; ein Neigungswinkel über 45^0 könnte durch Drehung der Ebene nicht mehr zum Verschwinden gebracht werden, durch Drehung in entgegengesetzter Richtung würde aber ein Punkt erreicht werden können, wo das Bild des beobachteten Meridians mit der entgegengesetzten Axe der Projectionsebene zusammenfiele.

Was die Richtung betrifft, in welcher die Projectionsebene gedreht werden muss, um eine bestimmte Veränderung der Meridianprojection herbeizuführen, so gilt darüber Folgendes: Wir wollen der Kürze halber den Winkel des verticalen Meridians mit der Verticalaxe der Projectionsebene positiv nennen, wenn der über der Horizontalebene gelegene Winkelschenkel nach aussen gekehrt ist, und negativ, wenn derselbe Winkelschenkel nach innen geht; den Winkel des horizontalen Meridians mit der horizontalen Axe der Projectionsebene wollen wir positiv nennen, wenn der rechts gelegene Winkelschenkel nach oben gerichtet ist, und negativ im entgegengesetzten Falle. Wir wollen ferner die Drehung um die horizontale Axe positiv nennen, wenn dieselbe so gerichtet ist, dass das obere Ende der Projectionsebene sich vom Auge entfernt, negativ die umgekehrte Drehung, die Drehung um die verticale Axe sei positiv, wenn sich dabei die rechte Seite der Projectionsebene vom Auge entfernt, und negativ im umgekehrten Falle. Es wird dann jeder positive Winkel zwischen 0 und 45^0 durch eine positive Drehung; jeder negative Winkel durch eine negative Drehung um die entgegengesetzte Axe verkleinert und schliesslich zum Verschwinden gebracht; vergrössert dagegen wird jeder Winkel durch eine Drehung von entgegengesetztem Zeichen. Ist also z. B. der verticale Meridian nach aussen geneigt, so muss die Projectionsebene vom Auge weggedreht werden, um diese Neigung zum Verschwinden zu bringen, ist derselbe Meridian nach innen geneigt, so muss umgekehrt die Projectionsebene dem Auge zugedreht werden, u. s. f. Hieraus ergeben sich von selber die Lagen der Projectionsebene, in Bezug auf welche bei den verschiedenen Convergenzstellungen des Auges die oben ihrer Richtung nach angegebenen Abweichungen des verticalen und des horizontalen Netzhautmeridians des einzelnen Auges vergrössert oder verringert werden oder ganz verschwinden, und es lässt sich demgemäss die Lage der genannten Meridianprojectionen für jede Ebene angeben, wenn die Lage bekannt ist, welche diese Ebene zum binokularen Sehfelde einnimmt.

Wenn, wie wir sahen, die Abweichung jeder Meridianprojection von der ihr entsprechenden Axe der Projectionsebene einzeln aufgehoben werden kann, so folgt nun, dass es eine bestimmte Lage der Projectionsebene giebt, in welcher die Winkelabweichung für sämmtliche Meridiane der betreffenden Netzhaut gleichzeitig verschwindet, und dass diese Ebene bestimmt ist, sobald man den Winkel kennt, um welchen das binokulare Sehfeld um eine bestimmte Axe zur Aufhebung der

Abweichung einer einzigen Meridianprojection gedreht werden muss. Es ist nämlich von vornherein klar, dass es irgend eine Fläche geben muss, welche die erwähnte Eigenschaft besitzt; denn giebt man der Projectionsebene nach einander die Stellungen, in welcher immer die Winkelabweichung eines bestimmten Netzhautmeridians aufgehoben ist, und denkt man sich jedes Mal den zusammenfallenden Ort der Meridianprojection und der entsprechenden Axe der Projectionsebene fixirt, so werden alle diese succesiv erhaltenen Linien zusammen eine Fläche bilden, auf welcher die Winkelverschiebungen aller Meridianprojectionen gleichzeitig verschwinden. Diese Fläche kann aber offenbar nur eine ebene Fläche sein. Denn geht man von dem binokularen Sehfelde aus, so sind, da die Winkelabweichungen aller Meridianprojectionen hier einander gleich sind, auch die Winkel, um welche man jedes Mal die Ebene um die entsprechende Axe drehen muss, damit die Winkelabweichung aufgehoben wird, einander gleich. Linien, die in einer Ebene gelegen sind, müssen aber, wenn sie in dieser Weise um gleiche Winkel gedreht werden, nach der Drehung wieder in einer Ebene liegen. Eine Ebene ist aber bekanntlich bestimmt, sobald man zwei Durchschnittslinien derselben kennt, und selbst dies reducirt sich in dem gegenwärtigen Fall, wo man vom binokularen Sehfelde ausgeht, auf eine einzige Bestimmung für eine beliebig gewählte Meridianprojection.

Gehen wir hiervon über zu dem uns interessirenden Fall, wo die Meridianprojectionen beider Augen gleichzeitig auf das binokulare Sehfeld entworfen werden. In den meisten Augenstellungen bilden die entsprechenden Meridianprojectionen beider Augen Winkel mit einander, und es ist von vornherein klar, dass diese Winkel durch geeignete Drehung des binokularen Sehfeldes vergrössert, verkleinert oder auch zum Verschwinden gebracht werden können. Es wird ferner auch hier eine Ebene geben, in welcher die gegenseitige Winkelabweichung aller Meridianprojectionen verschwindet, da nachgewiesen werden kann, dass die Winkelabweichung je zweier zusammengehöriger Projectionen einzeln aufgehoben werden kann, wenn man das binokulare Sehfeld in der geeigneten Richtung um einen bestimmten Winkel dreht. Wir werden uns bei diesem Nachweis übrigens auf zwei Paare von Meridianprojectionen beschränken können, da damit nicht nur der Beweis für alle andern geliefert sondern auch die Lage der Projectionsebene, in Bezug auf welche alle Winkelabweichungen aufgehoben sind, bestimmt ist.

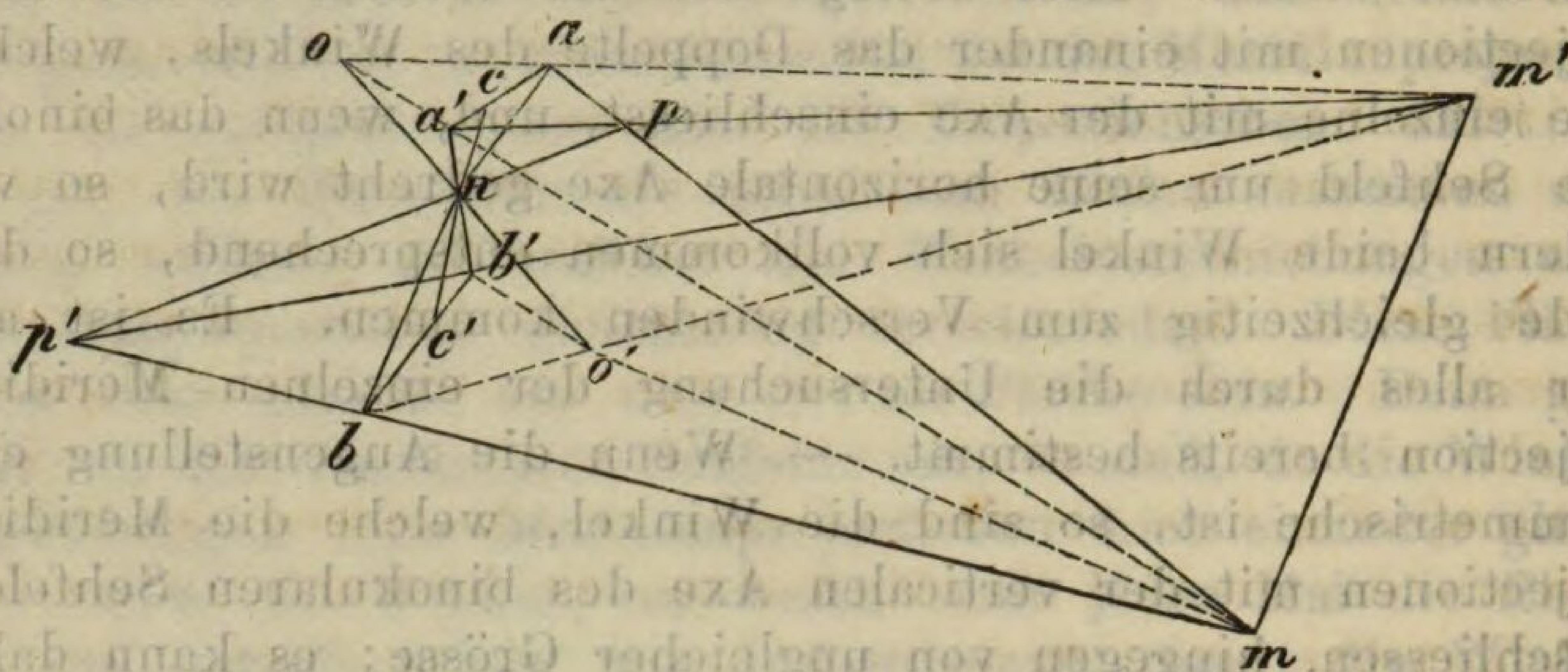
Wählen wir hierzu die Projectionen der in der Ruhestellung verticalen und horizontalen Meridiane, so ist für die ersteren

die Veränderung des Winkels der Meridianprojectionen mit der Lageänderung der Projectionsebene leicht ersichtlich. Nehmen wir zunächst die symmetrischen Augenstellungen, bei denen die verticalen Meridianprojectionen beider Augen so sich kreuzen, dass sie gleiche Winkel mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes bilden. Hier beträgt also der Winkel der Meridianprojectionen mit einander das Doppelte des Winkels, welchen jede einzelne mit der Axe einschliesst, und, wenn das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht wird, so verändern beide Winkel sich vollkommen entsprechend, so dass beide gleichzeitig zum Verschwinden kommen. Es ist also hier alles durch die Untersuchung der einzelnen Meridianprojection bereits bestimmt. — Wenn die Augenstellung eine asymmetrische ist, so sind die Winkel, welche die Meridianprojectionen mit der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes einschliessen, hingegen von ungleicher Grösse; es kann daher hier der Winkel, um welchen das Sehfeld zur Aufhebung der gegenseitigen Winkelabweichung gedreht werden muss, nicht mehr gleich sein dem Winkel, der die Abweichung des verticalen Meridians der einzelnen Netzhaut zum Verschwinden bringt, denn dieser Winkel ist ja bei beiden Augen verschieden; aber es ist leicht einzusehen, dass es auch hier eine bestimmte Lage der Projectionsebene giebt, in welcher die Bilder zweier correspondirender Netzhautmeridiane zusammenfallen, und zwar ist der Winkel, um welchen man die Ebene drehen muss, damit sie in diese Lage komme, genau das arithmetische Mittel aus den Winkeln, um welche dieselbe zur Aufhebung der Abweichung jedes einzelnen Meridians gedreht werden musste. Auch hier halbirt der geometrische Ort, welchen die zusammenfallenden Meridianprojectionen in der neuen Lage der Ebene einnehmen, den Winkel, welchen dieselben bei ihrer Divergenz in der frühern Lage der Ebene bildeten, aber die Halbirungslinie fällt hier nicht wie bei den symmetrischen Augenstellungen mit der entsprechenden Durchschnittslinie der Projectionsebene zusammen, sondern weicht von derselben nach der Seite hin ab, wo der Meridian mit der grösseren Winkelabweichung liegt. Es kann also bei den asymmetrischen Augenstellungen wohl die Disorientirung der zwei verticalen Meridiane gegen einander durch Projection aufgehoben werden, nicht aber gleichzeitig die Disorientirung in Bezug auf die ursprünglichen Raumverhältnisse des Sehfeldes.

Es lässt sich nun leicht in jedem einzelnen Falle bei gegebenem Winkel, den die verticalen Meridianprojectionen mit einander im binokularen Sehfeld einschliessen, durch Con-

struction die Lage der Ebene finden, für welche die Winkelabweichung jener Meridianprojectionen verschwindet. Es sei, Fig. 4, m der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen des linken

Fig. 4.



Auges, m' derselbe im rechten Auge, n sei der Fixationspunkt. Es seien nun z. B. in einem ersten Fall die Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld nach innen geneigt, so dass $a\,b$ die dem Auge m angehörige, $a'\,b'$ die dem Auge m' angehörige Projection ist. Man findet den Ort, wo die Projectionen zweier entsprechender Punkte a, a' und b, b' zusammentreffen, wenn man von m und m' aus nach diesen Punkten Linien zieht, der Ort, wo die Projectionslinien sich durchschneiden, ist der gesuchte. Der Ort, wo alle zusammengehörigen Punkte der Linien $a\,b$ und $a'\,b'$ in ihren Projectionen zusammentreffen, ist in einer Linie $p\,p'$ gelegen, deren Winkel mit $c\,c'$, der verticalen Axe des binokularen Sehfeldes, leicht zu berechnen ist. — Sind in einem zweiten Fall die Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld nach aussen geneigt, so dass also $a'\,b'$ die dem Auge m angehörige, $a\,b$ die dem Auge m' angehörige Projection ist, so ist die Linie $o\,o'$, die nach der entgegengesetzten Seite von $c\,c'$ geneigt ist der Ort, wo die Meridianprojectionen zusammentreffen.

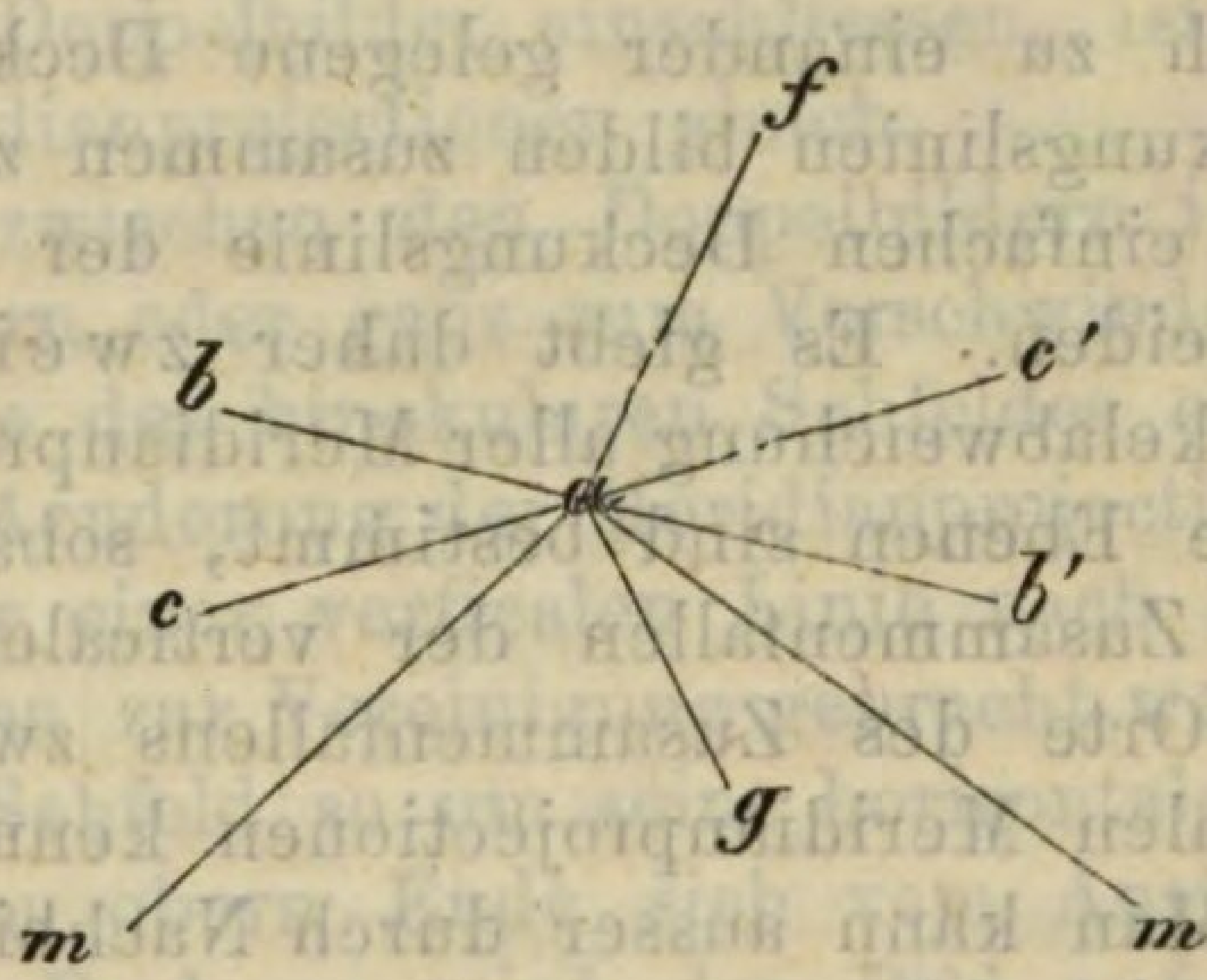
Die Bestimmung des Ortes, wo die horizontalen oder überhaupt irgend zwei andere zusammengehörige Meridianprojectionen sich schneiden, ist etwas verwickelter. Wir sahen, dass allgemein, wenn das binokulare Sehfeld um seine verticale Axe gedreht wird, die Meridianprojectionen mit demjenigen Ende, welches auf der vom Angesicht weggedrehten Seite des Sehfeldes liegen, sich nach unten, mit dem Ende, welches dem Angesicht zugekehrt wird, sich nach oben drehen: die Lageänderung der entsprechenden Meridianprojectionen ist also für

beide Augen die gleiche, und der Ort, wo z. B. bei symmetrischer Augenstellung die horizontalen Meridianprojectionen zusammentreffen, ist daher keineswegs gleich dem Orte, wo die einzelne Meridianprojection in die horizontale Axe des Sehfeldes fällt. Es ergiebt sich jedoch in diesem Fall die Bestimmung des gesuchten Ortes mit Hülfe des folgenden Satzes.

Wenn man die Meridianprojection eines Auges sammt dem Sehfeld, auf das sie projicirt ist, um eine Axe dreht, die gleichzeitig auf der Meridianprojection und der Sehaxe senkrecht steht, d. h. also um eine Axe senkrecht auf einer durch die Sehaxe und die Meridianprojection gelegten Ebene, so verändert während dieser Drehung die Meridianprojection ihre Lage auf der Projectionsebene nicht.

Es sei, Fig. 5., *a* der fixirte Punkt, *m a* die Sehaxe des linken, *m' a* die des rechten Auges, *b b'* sei die horizontale Meridianprojection des ersten, *c c'* die des zweiten Auges; die Lage von *b b'* bleibt constant, wenn man die Ebene um die Axe *a f*, die zur Ebene *b a m* senkrecht steht, dreht, die Lage von *c c'* bleibt constant, wenn wenn man die Ebene um die Axe *a g* dreht, die zur Ebene *c' a m'* senkrecht steht. Denkt man sich nun beide Drehungen gleichzeitig vorgenommen, so erhält man zwei gleiche Kreise mit zusammenfallendem Mittelpunkt, die zu einander geneigt sind, und von denen jedem Auge einer angehört. Der Durchmesser, in welchem diese Kreise sich schneiden, ist ein Ort, wo die beiden horizontalen Meridianprojectionen zusammenfallen.

Fig. 5.



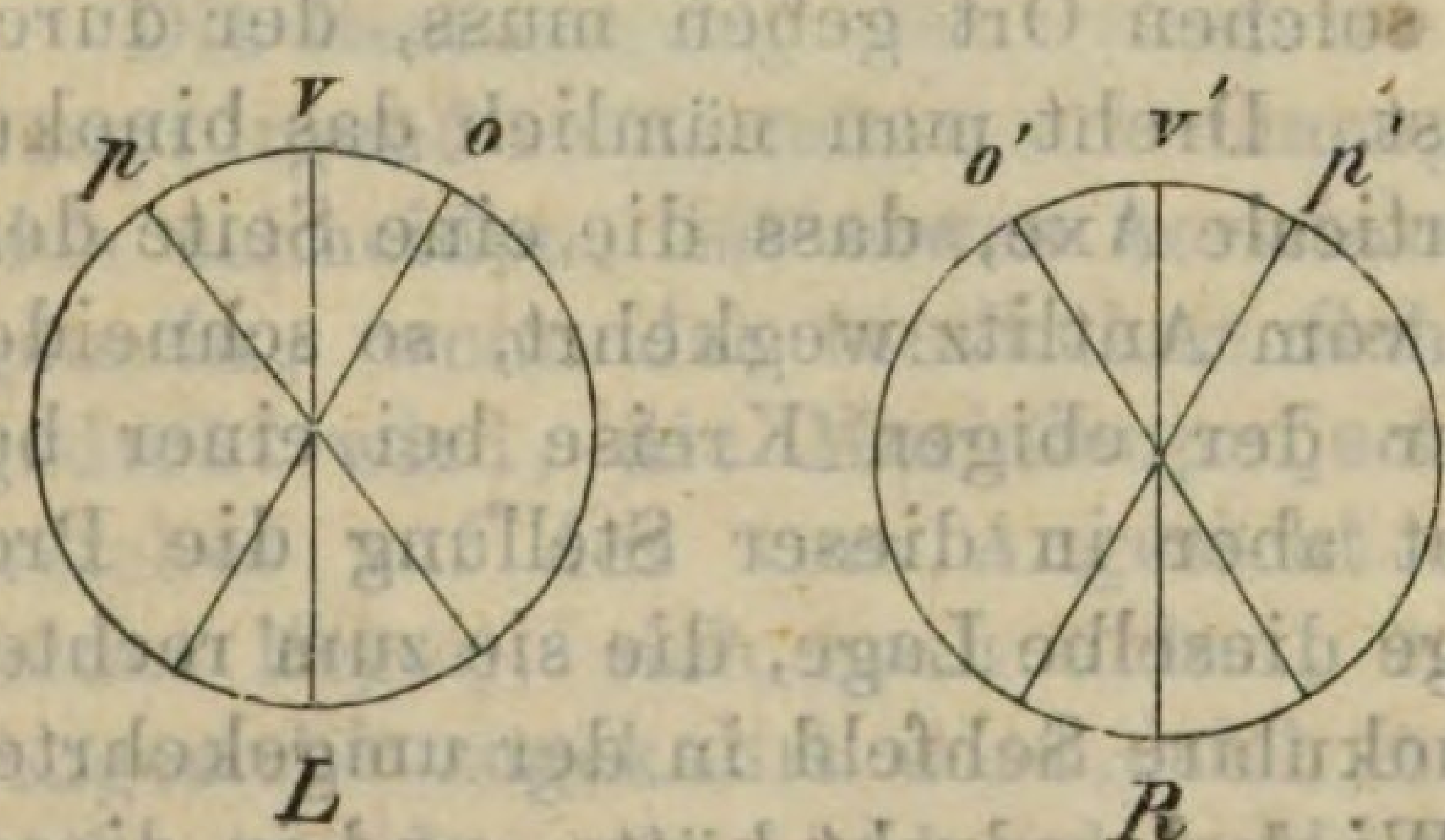
Damit ist also ein Ort für die Deckung der horizontalen Meridianprojectionen gefunden. Man sieht aber leicht ein, dass es noch einen zweiten solchen Ort geben muss, der durch den ersten schon bestimmt ist. Dreht man nämlich das binokulare Sehfeld so um seine verticale Axe, dass die eine Seite derselben, z. B. die linke, sich vom Antlitz wegkehrt, so schneidet die Ebene den Durchmesser der obigen Kreise bei einer bestimmten Stellung. Nun hat aber in dieser Stellung die Projectionsebene zum linken Auge dieselbe Lage, die sie zum rechten einnimmt, wenn man das binokulare Sehfeld in der umgekehrten Richtung um den gleichen Winkel gedreht hätte, und in dieser

zweiten Stellung hat die Projectionsebene zum linken Auge dieselbe Lage, die sie zuvor zum rechten einnahm; wenn also in der ersten Stellung die Winkelabweichung der Meridianprojectionen aufgehoben wurde, so wird sie es auch in der zweiten zur ersten symmetrischen Stellung. Man kann den Ort, wo jetzt die Meridianprojectionen zusammentreffen, construiren, wenn man die Meridianprojectionen vertauscht denkt, so dass die dem linken Auge angehörige auf das rechte bezogen wird und umgekehrt; denkt man sich dann in ähnlicher Weise wie oben die Kreisflächen beschrieben, so schneiden sich dieselben in einem zweiten Durchmesser, und dieser Durchmesser hat zur Medianebene dieselbe Lage wie der erste, er liegt nur auf der entgegengesetzten Seite.

Es giebt somit für die zwei horizontalen Meridianprojectionen zwei Orte, wo dieselben zusammenfallen. Dasselbe lässt sich für jedes andere Paar von Meridianprojectionen beweisen mit Ausnahme der verticalen: für jedes Paar giebt es zwei symmetrisch zu einander gelegene Deckungslinien, und alle diese Deckungslinien bilden zusammen zwei Ebenen, welche sich in der einfachen Deckungslinie der verticalen Meridiane durchschneiden. Es giebt daher zwei Ebenen, in welchen die Winkelabweichung aller Meridianprojectionen verschwindet, und diese Ebenen sind bestimmt, sobald man ausser dem Ort für das Zusammenfallen der verticalen Meridianprojectionen noch die Orte des Zusammenfallens zweier andern z. B. der horizontalen Meridianprojectionen kennt.

Man kann ausser durch Nachbilderversuche, bei denen man beliebige Netzhautmeridiane in beliebiger Weise unmittelbar nach aussen projicirt, alle oben erörterten Thatsachen auch nachweisen, indem man die Doppelbilder linearer Objecte beobachtet, und diese Versuchsmethode ist deshalb von besonderem Interesse, weil die mit ihr erhaltenen Resultate unmittelbar sich für die Beantwortung mehrerer Probleme des binokularen Sehens verwenden lassen. Um die hier zu beobachtenden Thatsachen mit den Nachbilderversuchen vergleichbar zu machen, ist Folgendes zu bemerken.

Fig. 6.



Es seien Fig. 6. *R* u. *L* die Projectionen der rechten und linken Netzhaut auf das binokulare Sehfeld. Es seien die verticalen Meridiane *v*, *v'* in diesen Projectionen nach

aussen gedreht, so dass sie die Lage p, p' einnehmen. Die verticalen Meridianprojectionen werden unmittelbar in dieser Lage beobachtet, wenn in der Ruhestellung der Augen verticale Nachbilder erzeugt wurden. Wird dagegen eine verticale Linie fixirt, so erscheint dieselbe in der Ruhestellung, wie das Nachbild, vertical, ihre Bilder fallen gleichfalls nach v und v'; geht man aber in eine Convergenzstellung über, bei der v und v' in der Projection auf das binokulare Sehfeld nach p und p' gelangt sind, so erscheint die Linie nicht mehr vertical sondern in gekreuzten Doppelbildern. Ihr Bild fällt nämlich wie vorher nach v und v', in v, v' liegen aber nicht mehr die verticalen Meridiane, sondern, bei der hier stattgehabten Drehung der Projection nach aussen, Meridiane o, o', die in der Ruhestellung um denselben Winkel nach innen von v, v' wie p und p' nach aussen von v, v' liegen. Die Doppelbilder eines linearen Objectes sind somit nach der entgegengesetzten Richtung geneigt als die Meridianprojectionen und die ihnen entsprechenden Nachbilder, der Winkel aber, den die Doppelbilder einschliessen, ist dem Winkel zwischen den Meridianprojectionen gleich.

Um nun den Winkel zwischen den Doppelbildern in beliebiger Weise zu verändern oder ganz zum Verschwinden zu bringen, hat man die Lage des binokularen Sehfeldes ebenso zu verändern, wie bei der Aenderung der Meridianprojectionen. Sind z. B. die Doppelbilder einer verticalen Linie nach innen geneigt, so können dieselben zur Vereinigung gebracht werden, wenn man das binokulare Sehfeld so um seine horizontale Axe dreht, dass es mit seinem obern Ende sich vom Angesicht entfernt, denn bei dieser Drehung wird das Bild auf jeder Netzhaut etwas nach aussen gedreht und fällt daher bei einer bestimmten Stellung der Ebene endlich auf die ursprünglich verticalen correspondirenden Meridiane der Netzhaut. Wir sahen aber, dass die Ebene, um die entsprechende Winkelabweichung der Meridianprojectionen zum Verschwinden zu bringen, ganz ebenso gedreht werden musste: die Meridianprojectionen sind nämlich, wie wir sahen, nach aussen geneigt, wenn die Doppelbilder nach innen geneigt sind, um aber die Neigung der verticalen Meridianprojectionen nach aussen aufzuheben, muss, wie oben gezeigt wurde, die Projectionsebene mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden. Es lässt sich auch leicht zeigen, dass der Winkel, um welchen zu diesem Zweck das binokulare Sehfeld gedreht werden muss, im einen wie im andern Fall gleich gross ist, so wie dass überhaupt bei jeder Stellung der Projectionsebene der Winkel zwischen den Doppelbildern eines in ihr befindlichen linearen

Gegenstandes und zwischen den Meridianprojectionen gleich ist. Man denke sich, statt, wie sie es wirklich sind, die Meridianprojectionen sich bei den Stellungsänderungen der Projectionsebene gegen einander drehend vorzustellen, diese Meridianprojectionen ruhend, und dagegen die entsprechenden Durchschnittslinien der Projectionsebene sammt dieser Ebene sich so gegen einander drehend, als wenn es sich kreuzende Doppelbilder eines Objectes wären. Es seien z. B. die verticalen Meridiane nach innen geneigt, so müsste die Ebene, wenn die von den Meridianprojectionen gedeckten Durchschnittslinien von Doppelbildern herrührten, mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden. Denkt man sich nun die Durchschnittslinien der Projectionsebene in Wirklichkeit so gegen einander gedreht und über einander verschoben, wie es der Drehung der Doppelbilder entspricht, so würden nach dieser Drehung die Meridianprojectionen auf Durchschnittslinien zu liegen kommen, deren jede bei der anfänglichen Lage der Ebene um die Hälfte des Winkels, den die Meridianprojectionen mit einander bilden, von jeder Meridianprojection nach aussen lag. Da nun aber in Wirklichkeit die Meridianprojectionen in der Anfangsstellung der Ebene nach der entgegengesetzten Richtung um den gleichen Winkel wie die Doppelbilder geneigt sind, so werden somit auch in jeder zweiten Stellung die Doppelbilder denselben Winkel mit einander einschliessen wie die Meridianprojectionen, aber nach der entgegengesetzten Richtung geneigt sein, und bei der gleichen Stellung der Ebene, wo die Meridianprojectionen zusammenfallen, werden auch die Doppelbilder zur Vereinigung kommen. Bezeichnet man die Ebene, in welcher sich die Gegenstände, deren Doppelbilder beobachtet werden, befinden, als Objectebene, so lässt sich sonach in einer beliebig gewählten Objectebene die Neigung der Doppelbilder leicht bestimmen, wenn man die Neigung der Meridianprojectionen in der entsprechenden Projectionsebene kennt, und ebenso umgekehrt. Vertauscht man die Meridianprojectionen beider Augen mit einander, so hat man die Projectionsebene zur Objectebene gemacht, und vertauscht man die Doppelbilder beider Augen mit einander, so hat man die Objectebene zur Projectionsebene gemacht.

Ebenso lässt sich nun leicht aus der Neigung der Doppelbilder die Lage der Ebene finden, in welcher die Doppelbilder zusammenfallen. Ist z. B. Fig. 4. $a\,b$ das Doppelbild des Auges m, $a'\,b'$ das Doppelbild des Auges m', so zieht man von jedem Auge aus Projectionslinien nach dem Doppelbild des andern Auges, also von m nach $a'\,b'$ und von m' nach $a\,b$: die Linie $o\,o'$,

in welcher sämmtliche Projectionslinien sich schneiden, ist dann die Linie, in welcher das Object liegen muss, um einfach gesehen zu werden.

Wenn es sich um die Ermittelung der combinirten Augenstellungen handelt, so genügt es, für jedes Auge die Winkelabweichung einer einzigen beliebig gewählten Meridianprojection von der entsprechenden Axe des binokularen Sehfeldes zu bestimmen, da hieraus alle weiteren Folgerungen abgeleitet werden können, und zwar wählt man zu diesem Zweck am besten die Projection des verticalen Meridians, da dessen experimentelle Ermittelung immer am einfachsten ist. Zu dieser Ermittelung ergeben sich mit Rücksicht auf das früher Erörterte folgende Methoden: Man kann erstens den Winkel benutzen, welchen ursprünglich verticale Nachbilder beider Augen projicirt auf das binokulare Sehfeld mit einander einschliessen (der aber aus früher angegebenen Gründen nur durch successive Beobachtung zu erhalten ist), man kann zweitens den Winkel messen, welchen die Doppelbilder einer binokular gesehenen verticalen Linie einschliessen. Ausser diesen zwei directen Methoden giebt es noch zwei indirecte: man kann nämlich die Augenstellung finden drittens aus dem Winkel, um welchen das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht werden muss, damit seine Lage mit der Tiefenrichtung des gemeinsamen verticalen Nachbildes beider Augen zusammenfalle, und viertens den Winkel, um welchen das binokulare Sehfeld um seine horizontale Axe gedreht werden muss, damit die Doppelbilder einer verticalen Linie zur Vereinigung kommen.

Es sei φ der Winkel, um welchen in den letzteren Fällen das binokulare Sehfeld zu drehen ist, α sei der Winkel zwischen den einzelnen Nachbildern oder den Doppelbildern, es sei ferner s die Entfernung des fixirten Punktes und g die halbe Distanz der Augenmittelpunkte (im Mittel ungefähr = 30 Mm.), so ist

$$\text{tgt. } \varphi = \frac{s}{g. \cot. \frac{\alpha}{2}}$$

Aus dieser Formel kann φ gefunden werden, wenn α bekannt ist, und umgekehrt kann daraus α bestimmt werden, wenn φ ermittelt wurde.

Von den oben angeführten Methoden ist die zweite und dritte zu genaueren Messungen nicht geeignet, weil bei jener nicht mit hinreichender Schärfe sich bestimmen lässt, wann das stereoskopisch vereinigte Nachbild in der Projectionsebene liegt, und weil bei dieser es sich meistens um die Messung

äusserst kleiner Winkel handelt, bei denen ebenfalls eine Neigung zur stereoskopischen Vereinigung der Doppelbilder besteht. Dieser Umstand macht auch die vierte Methode unsicher, aber es lässt sich diese Schwierigkeit aufheben, wenn man nicht unmittelbar die beobachtete Linie fixirt, sondern einen vor oder hinter derselben gelegenen Punkt. Dann erscheint die Linie nicht mehr in sich kreuzenden, sondern in recht- oder verkehrtseitigen Doppelbildern, deren Abstand von einander man durch die Wahl des fixirten Punktes selber bestimmen kann, und es ist nun, wenn man diesen Abstand geeignet nimmt, sehr leicht noch äusserst geringe Neigungen der Doppelbilder wahrzunehmen. Für diesen Fall ist die obige Formel zur Berechnung des Winkels α aus der beobachteten Neigung der verticalen Linie nicht mehr unmittelbar anwendbar. Nennen wir hier ψ den Winkel, um welchen die Linie geneigt werden muss, s wieder die Entfernung des fixirten Punktes und g die halbe Distanz der Augenmittelpunkte, und ist ferner l die Distanz zwischen fixirtem Punkt und beobachteter Linie, so findet man hier

$$\text{tgt.}\ \psi = \frac{s+l}{(s-l)\,\frac{g}{s}.\ \cot.\ \frac{\alpha}{2}}.$$

In dieser Abänderung ist die vorliegende Methode von Meissner zu ausgedehnten messenden Versuchen über die combinirten Augenstellungen benutzt worden*). Innerhalb gewisser Grenzen ist sie in der That hierzu sehr geeignet, da sie am unmittelbarsten ziemlich genaue Resultate liefert. Um aber schwache Abweichungen vom Parallelismus zu entdecken, muss man den Abstand der Doppelbilder so gering wie möglich nehmen, den fixirten Punkt also möglichst nahe an die beobachtete Linie bringen, d. h. den Abstand l sehr klein machen. Dieser Umstand schränkt aber die Anwendbarkeit unserer Methode auf engere Grenzen ein. Man wird niemals dieselbe zur Ausmittelung der Augenstellungen bei parallel gerichteten Sehaxen verwenden können, denn hier ist, wenn man auch die beobachtete Linie so weit wie möglich bringt, der fixirte Punkt im Verhältniss zu ihr doch immer noch in unendlicher Entfernung gelegen, die Linie erscheint daher in Doppelbildern, die um die Distanz der Augen von einander entfernt sind; in solcher Entfernung kann aber von einer Erkennung so schwacher Neigungen, wie sie bei diesen Augenstellungen vorkommen,

*) Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig. 1854.

nicht mehr die Rede sein. In geringerem Grade gilt dies aber auch noch für schwache Convergenzstellungen; auch hier ist es nicht wohl möglich zwischen der Entfernung des fixirten Punktes und der beobachteten Linie das richtige Verhältniss zu wählen. Man sieht somit, dass die Doppelbilderversuche immer nur bei ziemlicher Nähe des fixirten Punktes, also bei stärkeren Convergenzgraden, anwendbar sind; aber auch hier geht ihre Anwendbarkeit nur bis zu einer gewissen Grenze: das einzelne Auge lässt sich nämlich viel weiter nach innen drehen, als einer möglichen Convergenzstellung entspricht, über das aber, was jenseits der möglichen Convergenzbreite liegt, geben natürlich die Doppelbilderversuche gleichfalls keinen Aufschluss. Wir sehen somit, dass die Untersuchung nur mit Hülfe der ersten Methode, der Untersuchung der Nachbilderneigung jedes einzelnen Auges, vollständig abzuschliessen ist: die wesentlichen Resultate, die man auf diesem Wege in Betreff der Winkelabweichung der verticalen Meridianprojectionen auf das binokulare Sehfeld gewinnt, sind bereits früher angeführt worden; wir haben jetzt nur noch zu untersuchen, in wie weit jene Resultate sich mittelst der Doppelbilderversuche innerhalb der Breite der Anwendbarkeit der letztern sich bestätigen lassen.

Von Meissner sind die Doppelbilderversuche in seinen „Beiträgen zur Physiologie des Sehorgans" ausschliesslich zur Ermittelung der combinirten Augenstellungen angewandt worden, und es haben ihm die Resultate dieser Versuche zur Aufstellung einer Theorie der Augenbewegungen Veranlassung gegeben, die er in einer besondern Abhandlung experimentell und mathematisch zu begründen suchte*). Ich habe oben gezeigt, dass die Doppelbilderversuche immer nur neben andern Versuchsmethoden werden zur Anwendung kommen dürfen, wenn es sich um eine erschöpfende Feststellung der Bewegungsgesetze des Auges handelt, und dass in der Natur dieser Versuche eine nothwendige Einschränkung in gewisse Grenzen gegeben ist. Durch die Beschränkung auf diese Versuchsmethode wurde also die experimentelle Grundlage von Meissner's Arbeit insoweit unvollständig, als es durch die Methode selber bedingt war, d. h. es ist in derselben kein Aufschluss gegeben über die Winkelabweichungen der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld, die bei den grössten und kleinsten Augendrehungen vorhanden sind.

Nach Meissner giebt es eine bestimmte Neigung der Visirebene, in welcher die Meridianprojectionen auf das binokulare

*) Zur Lehre von den Bewegungen des Auges, in Graefe's Archiv für Ophthalm. Bd. II. 1.

Sehfeld in allen Convergenzgraden keinen Winkel mit einander einschliessen, dies ist die Neigung von 45^0 unter den Horizont; überdies nimmt er an, die verticalen Meridianprojectionen seien parallel in allen Stellungen mit paralleler Richtung der Sehaxen. Er nennt daher die parallele Stellung der Sehaxen mit Neigung derselben um 45^0 unter den Horizont die Primärstellung, die Convergenzstellungen bei der letzteren Neigung der Visirebene und alle Stellungen mit parallelen Sehaxen nennt er Secundärstellungen, endlich alle übrigen combinirten Augenstellungen, d. h. alle Convergenzstellungen über oder unter 45^0, nennt er Tertiärstellungen, und er fasst dann das Gesetz der combinirten Augenstellungen in den kurzen Ausdruck zusammen: in der Primärstellung und in allen Secundärstellungen ist keine Drehung um die Sehaxe in der Projection auf das binokulare Sehfeld vorhanden, in allen Tertiärstellungen dagegen giebt es eine solche Drehung, und zwar ist dieselbe in den Neigungen der Visirebene oberhalb 45^0 nach aussen gerichtet, in den Neigungen derselben unterhalb 45^0 nach innen gerichtet.

Meissner's experimentelle Resultate sind neuerdings durch nach ähnlicher Methode angestellte Versuche von Recklinghausen bestätigt worden, dessen Versuchszahlen nur gewisse Abweichungen zeigen, die individuell zu sein scheinen, so namentlich würde bei ihm die Primärstellung nicht bei 45^0 sondern etwa bei 35^0 Neigung der Visirebene unter den Horizont gelegen sein*). Bei mir selber liegt die Neigung der Visirebene, wo ich zu den stärksten Convergenzgraden übergehen kann, ohne dass die Doppelbilder einer im binokularen Sehfeld befindlichen verticalen Linie sich neigen, ebenfalls höher als bei Meissner, nämlich ungefähr bei 40^0 Neigung, ohne übrigens auf diese Neigung streng beschränkt zu sein, sondern es ist die Visirebene in der Breite einiger Winkelgrade drehbar, ohne dass das Resultat sich merklich ändert, wie dies auch aus Meissner's und Recklinghausen's Tabellen hervorgeht. Oberhalb dieser Stellung der Visirebene sind dann in allen Convergenzgraden, in denen noch eine scharfe und bequeme Beobachtung möglich ist, die Doppelbilder nach innen geneigt, in den Convergenzgraden unterhalb jener Stellung der Visirebene sind die Doppelbilder nach aussen geneigt.

Der Meissner'sche Satz fasst somit die Resultate, welche die Doppelbilderversuche innerhalb der Breite ihrer leichteren Anwendbarkeit ergeben, im Wesentlichen richtig zusammen;

*) Graefe's Archiv f. Ophthalm Bd. V. 2. S. 173.

es muss dabei nur im Auge behalten werden, dass diejenige Stellung der Visirebene, bei welcher die Winkelabweichung der Meridianprojectionen für ein grösseres Convergenzgebiet verschwindet, die sog. Primärstellung Meissner's, nicht eine scharf begrenzte ist, sondern bei einem und demselben Individuum einige Winkelgrade umfasst, und bei verschiedenen Individuen erheblicher variirt. Der Meissner'sche Satz ist aber nicht mehr als eine solche annähernde Formel für die im Gebiet der Doppelbilderversuche zu ermittelnden Thatsachen, und es wäre ein Irrthum, wenn man denselben als ein Gesetz betrachten wollte, das der Theorie der Augenbewegungen zur Grundlage dienen könnte.

Eine solche Annahme musste schon a priori unwahrscheinlich sein. Es würde nämlich an sich nichts Unwahrscheinliches haben, wenn es eine bestimmte Stellung der Visirebene gäbe, bei welcher in allen Convergenzgraden keine Drehung um die Sehaxe vorhanden wäre. Wenn aber diese Stellung eine zum Horizont geneigte wäre, so müsste trotzdem im binokularen Sehfeld eine Abweichung der Meridianprojectionen und also eine gleich grosse Divergenz der Doppelbilder vorhanden sein. Wenn also umgekehrt bei einer bestimmten Neigung der Visirebene die Winkelabweichung der Meridianprojectionen in allen Convergenzgraden Null wäre, so würde dies verlangen, dass eine Drehung um die Sehaxe stattfände, die bei jeder Convergenz so gross sei, dass die Abweichung der Meridiane durch die Projection auf das binokulare Sehfeld genau aufgehoben werde, und es würde bei dieser einzelnen Neigung der Visirebene ein derartiger mathematisch bestimmbarer Zusammenhang zwischen Convergenz und Drehung um die Sehaxe für das ganze Convergenzgebiet existiren. Man wird dies a priori nicht für unmöglich erklären dürfen, aber, wenn man erwägt, dass die Wahl des binokularen Sehfeldes schliesslich immer eine willkürliche bleibt, so wird man nicht umhin können, einen derartigen Zusammenhang wenigstens äusserst auffallend zu finden. Man bedenke, dass der Mechanismus unserer Augenbewegungen offenbar nicht, wie man früher wohl zuweilen geglaubt hat, sich richtet nach unseren binokularen Wahrnehmungen, d. h. immer bestrebt ist, eine möglichste Congruenz der Netzhäute herbeizuführen, sondern dass jener Mechanismus höchst wahrscheinlich sich lediglich richtet nach den mechanischen Bedingungen, die in ihm selber gelegen sind, da ja beim binokularen wie monokularen Sehen die Augenstellung dieselbe bleibt. Man würde, wenn trotzdem der Meissner'sche Satz ein Grundgesetz für die Augen-

bewegungen darstellen sollte, kaum in diesem Zusammenhang etwas anderes sehen können, als eine Art wunderbarer Zufälligkeit. Dagegen würde es wohl denkbar sein, dass innerhalb einer gewissen Breite des Convergenzgebietes die Winkelabweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfelde zum Verschwinden käme oder doch unmerklich klein würde; denn die Drehung um die Sehaxe wächst langsam mit der Zunahme des Convergenzwinkels, ebenso die durch die Projection auf das binokulare Sehfeld bedingte Abweichung, wenn also beide Veränderungen in entgegengesetzter Richtung stattfinden, so wird es leicht geschehen können, dass innerhalb eines grösseren oder kleineren Convergenzgebiets die Winkelabweichung der Meridianprojectionen im binokularen Sehfeld annähernd Null wird.

Dies entspricht nun in Wirklichkeit den Thatsachen, wie wir sie mit Hülfe der Nachbilderversuche in grösserem Umfang zu ermitteln vermögen. Wir haben gesehen, dass bei allen Neigungen der Visirebene unter den Horizont bei weiterer Entfernung des Fixationspunktes die Meridianprojectionen nach aussen geneigt sind, während sie bei grösserer Annäherung nach innen sich neigen; zwischen beiden liegt ein grösseres oder kleineres Convergenzgebiet, innerhalb welches die verticale Meridianprojection annähernd vertical bleibt. Dieses Convergenzgebiet fällt aber allerdings bei den Neigungen der Visirebene bis zu ungefähr 40^0 so nahe an's Auge, dass demselben eine symmetrische Convergenz nicht mehr entspricht, und umgekehrt bei sehr starken Neigungen der Visirebene fällt dasselbe in ziemlich beträchtliche Ferne. Die Nachbilderversuche haben uns ferner ergeben, dass auch den Augenstellungen mit parallel gerichteten Sehaxen keineswegs die Bedeutung von Secundärstellungen im Sinne des Meissner'schen Satzes zukommt. Geht man von der horizontalen Lage der Visirebene aus, so sind die verticalen Meridiane nach innen geneigt bei allen Stellungen der Visirebene über der Horizontalen, und sie sind nach aussen geneigt bei allen Stellungen der Visirebene unter der Horizontalen. Diese Neigungen der Meridiane bei parallelen Sehaxen lassen sich aber allerdings aus den früher angegebenen Gründen mit Hülfe der Doppelbilderversuche nicht nachweisen.

Dagegen lassen sich durch dieselben einige andere Abweichungen vom Meissner'schen Satze zeigen, die vollkommen dem entsprechen, was mit den Nachbilderversuchen gefunden wurde. Bei allen Stellungen der Visirebene über dem Horizont sind bei symmetrischer Convergenz die Doppelbilder nach

innen geneigt; diese Neigung der Doppelbilder nach innen nimmt zu mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels, aber sie ist noch deutlich vorhanden, wenn man auch den Convergenzwinkel so klein nimmt, als er nur bei diesen Versuchen genommen werden kann, wenn man nämlich den Fixationspunkt auf fast 100 Cm. entfernt. Dies entspricht vollkommen den durch die Nachbilderversuche gefundenen Thatsachen, welche zeigten, dass bei den Stellungen der Visirebene über dem Horizont für alle combinirte Augenstellungen nahezu vom Convergenzwinkel Null an im binokularen Sehfeld Drehung der Meridianprojectionen nach aussen vorhanden war.

Bei horizontaler Stellung der Visirebene sind die Doppelbilder bei sehr kleinen Convergenzwinkeln parallel, dann werden sie nach innen geneigt, welche Neigung nach innen mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels zunimmt. Auch dies entspricht der gefundenen Abweichung der Meridianprojectionen.

Endlich bei den Neigungen der Visirebene unter den Horizont findet man bis zur Neigung von ungefähr 40° bei den kleinsten Convergenzwinkeln, die man hier benützen kann, die Doppelbilder nach innen geneigt, und diese Neigung nach innen nimmt zu bis zu den stärksten symmetrischen Convergenzstellungen. Aber es nimmt die Neigung der Doppelbilder nach innen ab, je mehr sich die Visirebene der Neigung von 40° nähert, es bildet sich ein Convergenzgebiet, innerhalb dessen die Doppelbilder parallel stehen, und dieses Convergenzgebiet rückt im Allgemeinen, obgleich nicht regelmässig, mit der Neigung der Visirebene immer näher an's Auge. Endlich bei der Neigung der Visirebene von etwa 40° stehen die Doppelbilder bei den stärksten Convergenzen, die man erzielen kann, vollkommen parallel, und sie bleiben parallel auch bis zu beträchtlicher Entfernung vom Auge. Bei den Neigungen der Visirebene unter 40° sind innerhalb des gewöhnlichen Convergebietes, d. h. von 50 bis zu 5 Cm. Entfernung des fixirten Punktes, die Doppelbilder nach aussen gerichtet, welche Neigung nach aussen mit der Vergrösserung des Convergenzwinkels zunimmt. Jenseits jener Entfernung findet man ein kleines Convergenzgebiet, wo die Doppelbilder parallel stehen, und endlich bei den kleinsten Convergenzwinkeln findet man auch hier die Doppelbilder sehr schwach nach innen geneigt, so aber, dass der Entfernung des fixirten Punktes keine symmetrische Convergenz mehr entspricht, daher auch die Neigung nach innen sich auf das eine der Doppelbilder beschränkt. — Auch diese

Beobachtungen entsprechen ganz den mit Nachbildern gefundenen Thatsachen.

Man kann somit den Meissner'schen Satz als einen kurzen Ausdruck für die im Gebiet des Doppelsehens in Betracht kommenden Thatsachen stehen lassen, aber man muss sich dabei erinnern, dass dieser Satz kein Gesetz für die Augenbewegungen darstellt, sondern nur einen Ausdruck für die Thatsachen giebt, welcher so annähernd richtig ist, dass die Abweichungen davon meistens nicht in Betracht fallen. Aber wenn diese Abweichungen meist im Gebiet des Doppelsehens nicht in Betracht fallen, (obgleich manche derselben auch hier noch wohl zu beobachten sind), so ist damit nicht gesagt, dass dieselben überhaupt vernachlässigt werden dürfen. Wo es sich darum handelt, die Augenstellung genau zu kennen, wie z. B. für den Zweck der Bestimmung der Zugkräfte der Muskeln, die auf den Augapfel einwirken, und überhaupt bei allen für die Theorie der Augenbewegungen wichtigeren Fragen, da sind jene Abweichungen sehr in Rücksicht zu ziehen, und da kann deshalb nicht ausgegangen werden von einem Satze, der dieselben vernachlässigt.*)

3. Ueber den Horopter.

In den vorausgegangenen Untersuchungen ist das wesentliche Material zur Beantwortung eines Problems enthalten, das schon seit langer Zeit Physiker und Physiologen beschäftigt hat, und dessen Lösung in verschiedener Weise versucht worden ist. Sobald man auf die Erscheinung der Doppelbilder aufmerksam zu werden begann, musste man sich zu der Frage veranlasst fühlen: welchen Ort im Raum nehmen die gleichzeitig einfach gesehenen Objecte ein? Mit der Beantwortung dieser Frage war natürlich zugleich die entgegengesetzte Aufgabe, die Bestimmung der doppelt gesehenen Gegenstände im Raume, gelöst; die directe Ermittelung der einfach gesehenen Objecte schien aber von besonderem physiologischem und praktischem Interesse, weil damit zugleich die Frage nach den mit beiden Augen deutlich gesehenen Gegenständen entschieden war.

*) Ich habe mich in dem obigen Abschnitt auf die Auseinandersetzung der wichtigsten Thatsachen beschränkt, die für die binokularen Gesichtswahrnehmungen von Bedeutung sind. Die speciellere Erörterung der combinirten Augenbewegungen behalte ich mir vor für eine besondere Arbeit über die Bewegung der Augen.

Man stellte sich von vornherein den Inbegriff der einfach gesehenen Punkte als eine Linie oder Fläche, oder auch als einen nach drei Dimensionen ausgedehnten Raum vor und bezeichnete, der Untersuchung vorausgreifend, diesen Inbegriff einfach gesehener Punkte als Horopter. Die Ansichten über das Einfach- und Doppelsehen der Gegenstände sind daher in den Ansichten über die Gestalt des Horopters enthalten, den man theils durch Construction theils auf experimentellem Weg zu ermitteln suchte.

Bei diesen Untersuchungen über den Horopter stimmten aber Alle darin überein, dass ein Punkt, dessen Bild in beiden Augen auf correspondirenden Netzhautpunkten entworfen wird, unter allen Umständen einfach erscheint, während alle Bilder, die auf nicht correspondirende Netzhautstellen fallen, doppelt gesehen werden. Mit Beziehung hierauf geschah es, dass man die correspondirenden Netzhautpunkte auch identische Punkte benannte, eine Gleichsetzung, die sich im Wesentlichen bis heute erhalten hat, denn, wenn auch neuere Untersuchungen als unzweifelhaft herausstellten, dass von Identität der Netzhäute in dem Sinne wie es von früheren Autoren geschah, nicht gesprochen werden kann, so hat man sich doch bestrebt, die Lehre von den identischen Netzhautstellen wenigstens in Bezug auf die räumlichen Wahrnehmungen aufrecht zu erhalten.*) Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen ist sonach immer für gleichbedeutend genommen worden, man hielt den Horopter ebensowohl für den Inbegriff der einfach gesehenen Punkte im Raum wie für den Inbegriff derjenigen Punkte, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden. Indem man die zweite Aufgabe zu lösen suchte, glaubte man auch die erste zu lösen. Es war dies lediglich eine Consequenz der anatomischen Hypothese über die Objectivirung der Wahrnehmungen, die in diesen

*) Diesen Standpunkt vertritt noch Volkmann in seinen gründlichen Untersuchungen über die stereoskopischen Erscheinungen (Graefe's Archiv für Ophthalmalogie. Bd. V. 2), und Fechner sagt in einer Abhandlung, die durch die Darlegung einer Reihe von Wechselbeziehungen zwischen beiden Netzhäuten, welche mit der Identitätslehre vollkommen unvereinbar sind, für die Kenntniss des binokularen Sehaktes von grosser Wichtigkeit ist: „Es ist insofern gleichgültig, ob zwei Eindrücke auf correspondirenden (sog. identischen) Stellen beider Netzhäute, oder einer wirklich identischen Stelle einer und derselben Netzhaut zusammentreffen, als sie beidesfalls gleich vollständig in einen Eindruck verschmelzen, einen Raumpunkt in der Erscheinung decken, nur eine qualitativ einfache Resultante der Empfindung geben,“ u. s. w. (Ueber einige Verhältnisse des binokularen Sehens. S. 559.)

Abhandlungen mehrfach besprochen worden ist, und die auch in Bezug auf diesen besonderen Gegenstand in Joh. Müller ihren Hauptvertreter gefunden hat. Müller dachte sich den binokularen Sehakt in seinem Wesen nicht verschieden von dem monokularen Sehen. Beide Netzhäute bestanden nach ihm aus Faserausbreitungen desselben Ursprungs, beide Sehnerven waren nach seiner Annahme aus Fasern zusammengesetzt, die so im Chiasma sich theilten, dass jede einfache Nervenfaser in zwei auslief, die in zwei correspondirenden Punkten beider Netzhäute endigten. Dem einfachen Ursprung im Gehirn musste aber nach Müller die einfache Empfindung entsprechen, und so waren ihm beide Augen in Structur und Function nur ein einziges Sehorgan.*) Müller ist der Hauptvertreter dieser Hypothese, weil er sie am klarsten zum Ausdruck brachte und ihr die umfassendste Anwendung gab, aber er ist weder ihr erster noch ihr letzter Vertreter, sondern die meisten, ja fast alle Untersuchungen über den binokularen Sehakt vor ihm und nach ihm stützen sich im Wesentlichen auf das gleiche Princip, insbesondere dürfte in Bezug auf das Einfach- und Doppelsehen der Gegenstände kaum irgendwo eine Ansicht ausgesprochen worden sein, die nicht von der Identität der correspondirenden Netzhautstellen in Bezug auf räumliche Wahrnehmungen ausginge. So ist denn auch in den Untersuchungen über den Horopter vor und nach Müller die Identitätslehre immer massgebend gewesen, es ist, wie schon gesagt, in allen diesen Untersuchungen Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Punkten als gleichbedeutend genommen worden.

Insofern es nun in dem nächsten Abschnitt meine Aufgabe sein wird, auf theoretischem und experimentellem Wege den Beweis zu liefern, dass diese Gleichsetzung unstatthaft ist, dass ebenso wenig unter allen Umständen mit correspondirenden Netzhautstellen einfach wie mit nicht correspondirenden Stellen doppelt gesehen wird, könnte ich mich füglich eines Eingehens auf jene Untersuchungen über den Horopter gänzlich enthalten, da denselben ja doch die Bedeutung, die man glaubte, nicht zukommt. Immerhin ist aber auch ohne Rücksicht auf das Einfach- oder Doppelsehen der Objecte die Frage nach den Punkten im Raum, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden, nicht ohne Interesse und als Voruntersuchung für das Spätere nicht ohne Bedeutung. Es wird daher um so mehr geboten sein, auf

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns. S. 71 u. f.

diesen Gegenstand hier näher einzugehen, weil die bisherigen Untersuchungen über den sog. Horopter die Frage keineswegs erschöpfend beantworten.

Man hielt früher den Horopter meistens für eine Ebene, die im fixirten Punkt auf der Visirebene senkrecht stehe*), man glaubte, die Bilder aller Punkte dieser Ebene fielen auf correspondirende Netzhautstellen. Die Unrichtigkeit dieser Meinung wies Vieth durch geometrische Construction nach und zeigte auf demselben Weg, dass die in der Visirebene befindlichen Punkte, deren Bilder auf correspondirenden Netzhautstellen entworfen werden, im Umfang eines Kreises liegen, der durch den Fixationspunkt und die optischen Centren der Augen gelegt wird.**) Dieselbe Angabe soll längere Zeit vorher schon von Pierre Prévost gemacht worden sein.***) Unabhängig von Beiden gelangte Joh. Müller zu der gleichen Construction,†) Müller aber war der Erste, der dem Gefundenen eine ausgedehnte physiologische Anwendung zu geben wusste auf die Lehre vom Einfach- und Doppelsehen und von der Bewegung der Augen; insbesondere in letzterer Hinsicht zeigte er, dass die Bewegung beider Augen im Horopter für dieselben die naturgemässeste sei, weil nur dann beide in gleichen Zeiten gleich grosse Wege zurücklegen.††) Diese Anwendung auf die combinirte Bewegung der Augen ist ganz unabhängig von der sonstigen Horopterlehre, und es muss in der That als in hohem Grade wahrscheinlich angesehen werden, dass die Augen bei ihren Bewegungen in der Visirebene dem von Müller ausgesprochenen Princip Folge leisten.

Die Müller'sche Horopterlehre fand bei den Physiologen allgemeinen Eingang, ohne dass der Versuch gemacht wurde, das theoretisch Gefundene einer sorgfältigen experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Die einzige Vervollständigung, die man der Müller'schen Horopterlehre da und dort zu geben suchte, bestand darin, dass man sie auch auf die Höhendimension ausdehnte, und dann an die Stelle des Horopterkreises eine gekrümmte Fläche (Kugel- oder Cylinderfläche)

*) Ueber die frühere Geschichte der Horopterlehre vergl. Gehler's physikal. Wörterbuch. Bd. IV. S. 1472 u. fg.

**) Gilbert's Annalen. Bd. 58. 1818. S. 233.

***) Nach Claparède (Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv. 1859. S. 384). Die Angabe von Prévost befindet sich in dessen 1805 erschienenem Essai de Philosophie (T. I. p. 173), das mir unzugänglich gewesen ist.

†) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns. 1825. S. 170.

††) Ebend. S. 242 u. f.

setzte. Genauer wurde auf dem Weg der Construction die Höhendimension des Horopters nur von Alexander Prévost untersucht, und es wurde von ihm gezeigt, dass der Ort sämmtlicher Punkte des Raumes, die entsprechende Netzhautstellen afficiren können, ausser in dem durch den Fixationspunkt und die optischen Centren gelegten Kreise in einer Linie befindlich ist, die auf der Visirebene in dem Punkte senkrecht steht, in welchem der horizontale Horopterkreis eine auf die Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichtete Senkrechte schneidet.*)

Der Erste, der die Müller'sche Horopterlehre einer experimentellen Prüfung unterwarf, war Baum; seine Versuche sind schon vor längerer Zeit angestellt, aber erst neuerdings veröffentlicht worden.**) Der Hauptversuch Baum's ist folgender: er bringt eine gerade Linie, z. B. die schmale Kante eines Lineals, so vor das Gesicht, dass dieselbe mitten auf der Halbirungslinie der Augenmittelpunkte senkrecht steht, wird der Endpunkt des Lineals fixirt, so erscheint dasselbe in verkehrten Doppelbildern, welche an diesem Punkt sich berühren. Wird dann das Lineal um sein an das Gesicht gestemmtes Ende gedreht, während die Convergenzstellung unverändert beibehalten wird, so entfernen sich die Enden der Doppelbilder von einander und lassen eine Spalte zwischen sich. Da nun ein Kreis, welcher mit der Entfernung des fixirten Punktes von der Nasenwurzel als Radius beschrieben wird, jedenfalls noch grösser ist als der Horopterkreis, da also der Durchschnittspunkt der Linie von dem Ende derselben an sich dem Auge im Gegentheil hätte nähern müssen statt sich zu entfernen, so schloss Baum, dass der Horopter nicht in der von Müller construirten Kreislinie, sondern hinter derselben gelegen sei.

Wir wollen diesen Versuch hier etwas näher in's Auge fassen, weil seine Deutung für die Horopterfrage von grosser Wichtigkeit ist, obgleich er uns auf einen Gegenstand führt, dessen gründlichere Erörterung wir dem nächsten Abschnitt vorbehalten müssen: es sind nämlich die Bedingungen in diesem Versuch solche, dass in der That mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. — Das Resultat des Baum'schen Versuchs ist zweifellos richtig, und es hat daher

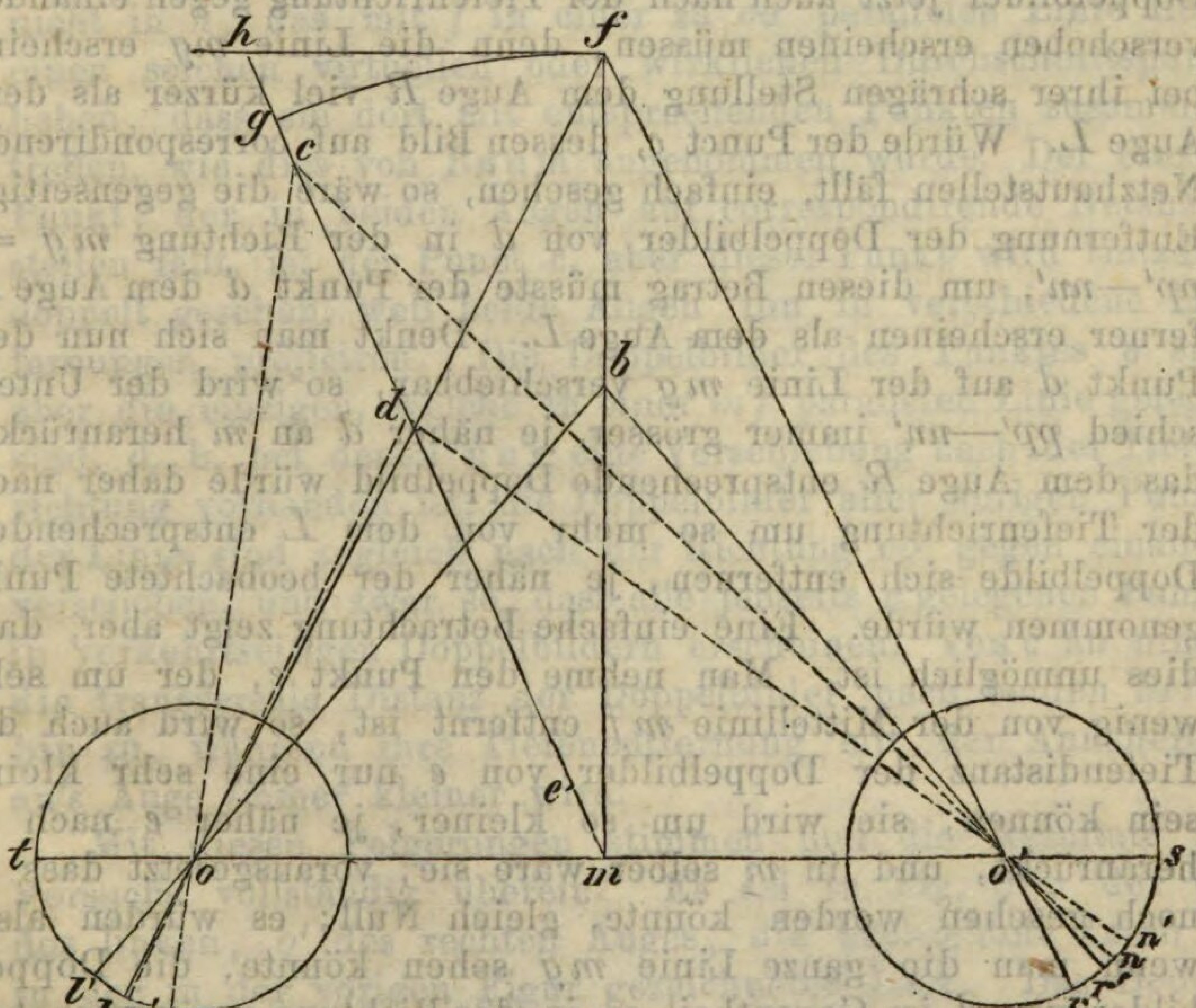
*) Essai sur la théorie de la vision binoculaire. Dissert. Génève. 1842. Im Auszug in Biblioth. univers. de Génève. Nov. 1843, und in Poggendorff's Annalen. Bd. 62. 1844. S. 548.

**) In Meissner's Beiträgen zur Physiologie des Sehorgans. S. 56.

auf den ersten Blick allerdings den Anschein, als wenn dadurch mit einem Schlag die Annahme eines kreisförmigen Horopters experimentell widerlegt sei. Kaum giebt es einen andern Versuch, der uns einen so schroffen Widerspruch aufdeckte zwischen der Beobachtung und zwischen dem, was wir a priori erwarten sollten. Die Construction des Horopterkreises, der durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte geht, ist zweifellos richtig, das Bild jedes Punktes, der auf diesem Kreise gelegen ist, muss in beiden Augen auf correspondirende Netzhautstellen fallen, aber die Baum'sche Beobachtung, dass unter den von ihm angegebenen Versuchsbedingungen ein solcher Punkt nicht einfach, sondern doppelt gesehen wird, ist ebenso zweifellos richtig. Um so mehr wird ein derartiger Widerspruch uns zur sorgfältigen Prüfung auffordern.

Suchen wir uns zuerst durch eine Construction das von dem Versuch zu erwartende Resultat klar zu machen. Es seien, Fig. 7, *R* und *L* das rechte und linke Auge, *m f*

Fig. 7.



der zwischen die Augen gebrachte Stab, *f* dessen fixirter Endpunkt. Der Stab *m f* erscheint in verkehrtseitigen Doppel-

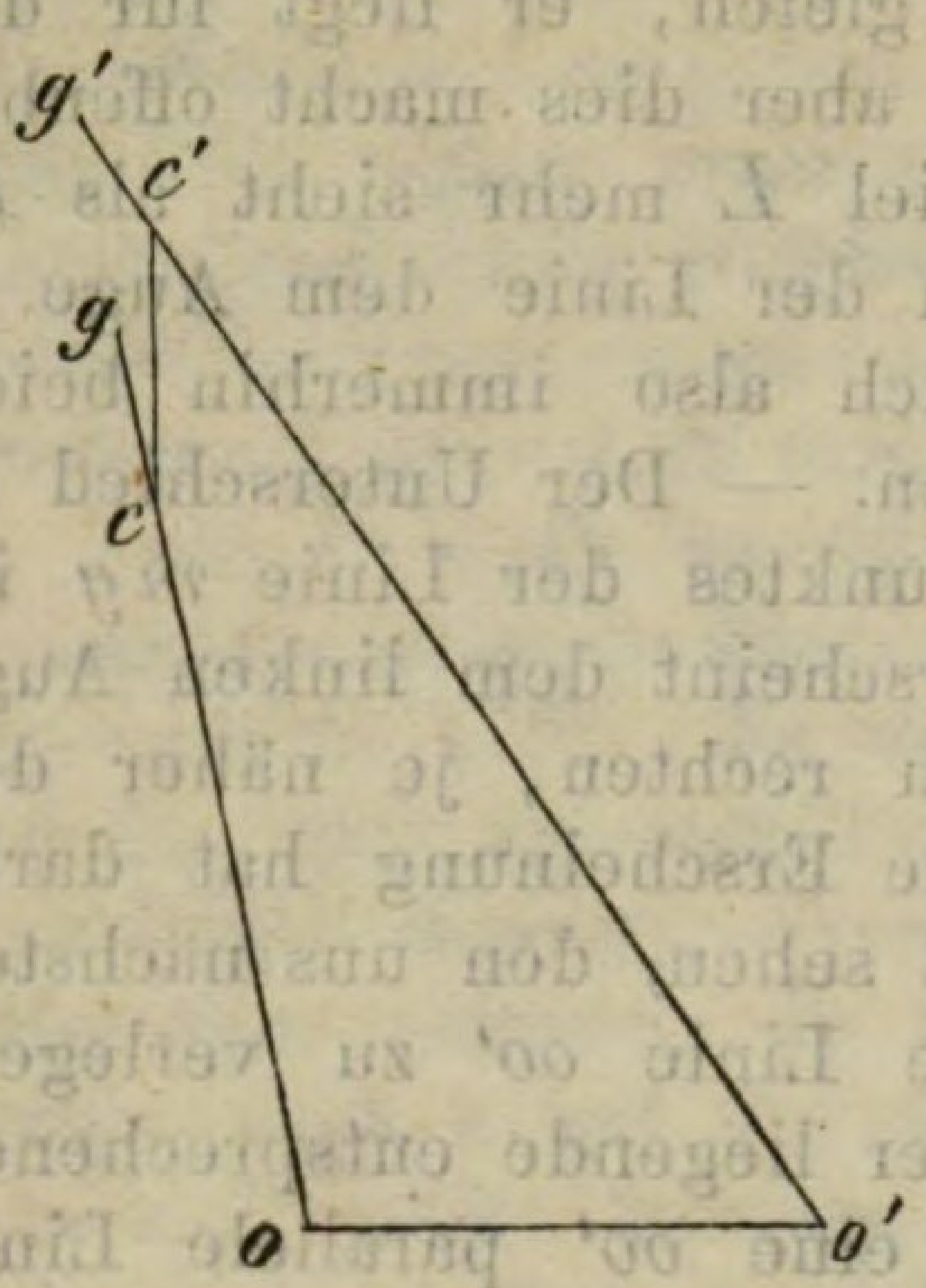
bildern, die sich im Punkt f berühren, denn fällt das Bild des Punktes f in jedem Auge auf den gelben Fleck, so fällt das Bild irgend eines vor f gelegenen Punktes b auf nicht correspondirende Netzhautstellen. Sind r und l der gelbe Fleck in jedem Auge, so fällt b im rechten Auge auf r', im linken Auge auf l', und r' liegt ebenso weit nach aussen von r, wie l' nach aussen von l liegt, die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder von b entspricht daher der Netzhautdistanz $rr' + ll'$. Es werde nun, während der Punkt f fixirt bleibt, mf um den Punkt m gedreht, so dass es nach mg zu liegen kommt. Von der Linie mg sei der Punkt c im Horopter gelegen, es fällt dann das Bild von c im rechten Auge nach n auf der äussern Seite von r, im linken Auge nach p auf der inneren Seite von l, und die Netzhautdistanzen rn und lp sind einander gleich, n und p sind daher correspondirende Punkte. — Der Punkt b ist, während f nach g gelangte, nach d gekommen, es fällt aber d im Auge R nach n', im Auge L nach p'. Die transversale Entfernung der Doppelbilder von d beträgt $rn' \mp lp'$, aber es ist klar, dass diese Doppelbilder jetzt auch nach der Tiefenrichtung gegen einander verschoben erscheinen müssen, denn die Linie mg erscheint bei ihrer schrägen Stellung dem Auge R viel kürzer als dem Auge L. Würde der Punct c, dessen Bild auf correspondirende Netzhautstellen fällt, einfach gesehen, so wäre die gegenseitige Entfernung der Doppelbilder von d in der Richtung $mg = pp' - nn'$, um diesen Betrag müsste der Punkt d dem Auge R ferner erscheinen als dem Auge L. Denkt man sich nun den Punkt d auf der Linie mg verschiebbar, so wird der Unterschied $pp' - nn'$ immer grösser, je näher d an m heranrückt, das dem Auge R entsprechende Doppelbild würde daher nach der Tiefenrichtung um so mehr von dem L entsprechenden Doppelbilde sich entfernen, je näher der beobachtete Punkt genommen würde. Eine einfache Betrachtung zeigt aber, dass dies unmöglich ist. Man nehme den Punkt e, der um sehr wenig von der Mittellinie mf entfernt ist, so wird auch die Tiefendistanz der Doppelbilder von e nur eine sehr kleine sein können, sie wird um so kleiner, je näher e nach m heranrückt, und in m selber wäre sie, vorausgesetzt dass m noch gesehen werden könnte, gleich Null; es würden also, wenn man die ganze Linie mg sehen könnte, die Doppelbilder von d im Gegentheil so in der Richtung mg verschoben erscheinen, dass das dem Auge L zugehörige Doppelbild um $p't - n's$ ferner gelegen wäre als das dem Auge R zugehörige Doppelbild. Nun ist zwar der Punkt m für keines von beiden

Augen sichtbar, und der nächstgelegene sichtbare Punkt ist überhaupt für beide Augen nicht gleich, er liegt für das Auge *R* ferner als für das Auge *L*, aber dies macht offenbar keinen Unterschied, denn um so viel *L* mehr sieht als *R*, um so viel erscheint das Doppelbild der Linie dem Auge *L* gegen *m* hin länger, man kann sich also immerhin beide Doppelbilder bis *m* fortgesetzt denken. — Der Unterschied in der Lage der Doppelbilder eines Punktes der Linie *mg* ist somit um so grösser, der Punkt erscheint dem linken Auge um so entfernter im Verhältniss zum rechten, je näher der Punkt bei *g* gelegen ist. Die ganze Erscheinung hat darin ihren Grund, dass wir uns genöthigt sehen, den uns nächsten Endpunkt jedes Doppelbildes in die Linie *oo'* zu verlegen, und dass wir daher irgend zwei ferner liegende entsprechende Punkte der Doppelbilder nicht in eine *oo'* parallele Linie verlegen können, weil das eine derselben kürzer als das andere ist, wir können daher auch nie die Doppelbilder mit irgend zwei entsprechenden Punkten sich durchkreuzen sehen.

Da dies um so mehr gültig ist, je weiter man sich die Linie *mg* fortgesetzt denkt, so können die Doppelbilder auch nicht in *h*, das mit *f* in einer zu *oo'* parallelen Linie liegt, einen solchen virtuellen oder wirklichen Durchschnittspunkt haben, dass sie dort mit entsprechenden Punkten zusammentreffen, wie dies von Baum angenommen wurde. Der einzige Punkt, der in beiden Augen auf correspondirende Netzhautstellen fällt, ist der Punct *c*, aber dieser Punkt wird trotzdem doppelt gesehen, weil beide Augen ihn in verschiedene Entfernungen projiciren. Die Doppelbilder des Punktes *c* sind aber die einzigen, welche in einer *mf* parallelen Linie gelegen sind, d. h. bei denen nur eine Verschiebung nach der Tiefenrichtung vorhanden ist, die Doppelbilder aller übrigen Punkte der Linie sind zugleich nach der Richtung *oo'* gegen einander verschoben, und zwar so, dass alle jenseits *c* gelegenen Punkte in verkehrtseitigen Doppelbildern erscheinen. Von *c* an nimmt die transversale Distanz der Doppelbilder nach beiden Seiten hin zu, während ihre Tiefenentfernung mit der Annäherung an's Auge immer kleiner wird.

Mit diesen Folgerungen stimmen nun die Resultate des Versuchs vollständig überein. Es sei in Fig. 8 *o* der Ort des linken, *o'* des rechten Auges, die beobachtete Linie sei in der in der vorigen Figur gezeichneten Lage. Das Doppelbild des linken Auges ist dann *o' g'*, das Doppelbild des rechten Auges *og*, beide Doppelbilder sind in der der beobachteten Linie entsprechenden Richtung geneigt, aber die

Fig. 8.



Neigung von *o' g'* ist stärker als die von *og*, so dass der Endpunkt *g'* nach links von dem Endpunkt *g* zu liegen kommt, die Punkte *c* und *c'*, die in einer auf *oo'* senkrechten Richtung liegen, sind die Bilder correspondirender Netzhautstellen. — Man sieht diese Bilder deutlich hinter einander liegen, weil *c* und *c'* sich nicht decken, indem *o g* und *o' g'* wegen der Drehung des Auges nicht, wie in der Construction vorausgesetzt ist, in einer Ebene liegen, sondern etwas über einander geschoben erscheinen. — Ich bemerke noch, dass es, um bei diesem Versuch nicht in Täuschungen zu verfallen, wesentlich ist, den Punkt *f* (s. vor. Fig.) vollkommen fest zu fixiren und nicht, wozu man namentlich bei starker Neigung der Linie leicht geneigt ist, seitlich nach dem Punkte *g* hin zu schielen; lässt man dies ausser Acht, und fixirt man unwillkürlich den Punkt *g*, so erscheint natürlich die ganze Linie in verkehrten Doppelbildern, und auch der Punkt *g* liegt dann nach rechts von *g'*. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man absichtlich den Punkt *g* fixirt, man wird es auch bei strengster Fixation nie dahin bringen, den Punkt *g* einfach zu sehen, bei schärfster Fixation erscheint derselbe immer noch in hinter einander gelegenen Doppelbildern, sowie man aber in der Fixation etwas nachlässt, so weichen diese auch in transversaler Richtung aus einander. Auch hier haben wir also, wie man beiläufig sieht, einen Fall, wo trotz des Sehens mit correspondirenden Netzhaustellen doppelt gesehen wird, und wo noch dazu der fixirte Punkt doppelt gesehen wird.

Baum hat noch einen zweiten Versuch angegeben, durch welchen er direct zu beweisen sucht, dass der einfach gesehene Punkt immer in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden liege. Er fixirt zu diesem Zweck nicht den Endpunkt *f* der Geraden, sondern irgend einen vor demselben gelegenen Punkt. Dreht man dann die Linie *mf* um den Punkt *m*, so rückt der Durchschnittspunkt der Doppelbilder, der in der Ausgangsstellung im fixirten Punkte lag, bei der Drehung allmälig hinaus und nähert sich dem End punkt der Linie. Nach Baum's und Meissner's Versuchen

liegt dabei der Durchschnittspunkt immer in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden, woraus Beide schliessen, dass eben diese Gerade der horizontale Horopter sei.*)

Das Hinausrücken des Durchschnittspunktes ist eine unzweifelhafte Thatsache, dagegen muss ich, nach vielfältiger Wiederholung des Versuchs, der Behauptung, dass der Durchschnittspunkt immer in der angegebenen Geraden bleibt, widersprechen. Nach unseren obigen Erörterungen würde, wenn dies auch stattfände, hierin kein Beweis gegeben sein für das Einfachsehen in jener zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden, denn wegen der verschiedenen Neigung der Doppelbilder können diese ja nur mit nicht entsprechenden Punkten sich kreuzen; aber es bleibt, wie gesagt, der Durchschnittspunkt keineswegs in jener Geraden, sondern man beobachtet, dass er schnell beträchtlich ferner rückt. Ich stelle den Versuch auf folgende einfache Weise mittelst drei feiner Stricknadeln an. Die erste Nadel wird als Fixationsobject vertical befestigt, die zweite wird als zu beobachtende Linie an die Nasenwurzel angesetzt, und die dritte dient zur Markirung des Ortes, wo sich die Doppelbilder bei irgend einer seitlichen Neigung der zweiten Nadel durchschneiden; man kann hier leicht constatiren, dass mit der Abweichung der beobachteten Linie vom Fixationsobject der Durchschnittspunkt der Doppelbilder sehr schnell ferner rückt, es ist zu diesem Zweck besonders gut, den Fixationspunkt möglichst nahe zu nehmen, weil dann das Weiterrücken des Durchschnittspunktes um so bedeutender wird. Auch bei diesen Versuchen hat man sich übrigens vor unabsichtlichem Wechsel des Fixationspunktes zu hüten.

Wenn wir die obigen Constructionen, Fig. 7 und 8, in's Auge fassen, so werden wir den beschriebenen Erfolg keineswegs auffallend finden, sondern als eine nothwendige Folge der Versuchsbedingungen betrachten müssen. Die Entfernung der Doppelbilder des Punktes c nach der Richtung mf ist, wie wir gesehen haben, proportional dem Unterschied der

*) Meissner nennt dieselbe jedoch nur einen virtuellen Horopter, weil die Doppelbilder sich nicht wirklich kreuzen, sondern wegen der Drehung der Augen um ihre Sehaxen noch in senkrechter Richtung von einander abstehen. Ich habe diese senkrechte Verschiebung der Doppelbilder gegen einander, die mit den obigen Untersuchungen zunächst nicht in Beziehung steht, hier gleichfalls noch ausser Acht gelassen; es ist daher wo oben von Durchschneidung der Doppelbilder die Rede ist, dies nur mit Rücksicht auf diese Vernachlässigung zu verstehen.

Netzhautdistanzen $p't$ und $n's$; dieser Unterschied nimmt aber immer mehr und sehr schnell zu, je weiter mg von mf weg gedreht wird. Die Entferung des Durchschnittspunktes der Doppelbilder steht aber in directem Verhältniss zur Distanz cc', Fig. 8, je kleiner cc' ist, um so näher ist der wirkliche oder virtuelle Durchschnittspunkt der Doppelbilder gelegen, und je grösser cc' wird, um so ferner rückt dieser Durchschnittspunkt.

Es ergiebt sich aus unsern Betrachtungen der Schluss, dass die beiden von Baum angegebenen Grundversuche den Beweis allerdings liefern, dass nicht unter allen Umständen die in dem Horopterkreis gelegenen Punkte einfach gesehen werden, aber es war ein Fehlschluss, wenn Baum weiter folgerte, dass deshalb auch die Bilder jener Punkte nicht auf correspondirende Netzhautstellen fielen. Wir sehen im Gegentheil, dass wir hier zum ersten Mal auf einen evidenten Fall gestossen sind, wo mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird.

Meissner hat den Versuchen Baum's noch einige eigene hinzugefügt, durch welche er auf indirectem Wege zu beweisen suchte, dass die horizontale Horopterlinie eine der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallele Gerade sei.*) Er nahm z. B. drei Punkte, deren mittleren er fixirte, und deren seitliche er in indirectem Sehen beobachtete; die Doppelbilder dieser seitlichen Punkte sollen nach seinen Beobachtungen nur dann nicht transversal gegen einander verschoben sein, wenn alle drei Punkte in jener Geraden gelegen sind. Ich werde auf diese Versuche, die mit meinen eigenen Beobachtungen im Widerspruch stehen, weiter unten zurückkommen.

Alle bisher erwähnten Untersuchungen über den Horopter lassen eine etwaige Incongruenz der beiden Netzhäute durch ungleiche Drehung um die Sehaxen unberücksichtigt, die meisten begnügen sich daher mit der geometrischen Construction, ohne den Versuch zu machen, das auf diesem Weg Gefundene durch die Beobachtung zu constatiren, nur Baum sucht den Horopter experimentell zu ermitteln, aber er beschränkt sich seinerseits rein auf das Experiment, und bringt nichts, was den Widerspruch zwischen der Beobachtung und dem, was nach der Construction a priori erwartet werden muss, zu lösen vermöchte; denn wenn eine Krümmungsverschiedenheit der äussern und innern Hälfte der Retina, deren Vermuthung Baum zu

*) A. a. O. S. 59 u. f.

seinen Untersuchungen bestimmte*), auch besteht, so wird eine solche Verschiedenheit allerdings eine Abweichung in der Gestalt des horizontalen Horopters bedingen müssen, es wird dieser nicht vollkommen kreisförmig gekrümmt sein, aber eine gerade Horopterlinie steht deshalb keineswegs zu erwarten.

Das Gegenstück hierzu bilden die Arbeiten Meissner's über den Horopter. Sie berücksichtigen fast ausschliesslich die Drehungen um die Sehaxe, ihr Ziel besteht daher in der experimentellen Ermittelung derjenigen Punkte des Raumes, in Bezug auf welche keine Incongruenz der Netzhäute durch Drehung vorhanden ist. Würde dieses Ziel in Meissner's Untersuchungen erreicht sein, so wäre damit ein Hauptmoment zur Entscheidung der Frage nach den Theilen des Raumes, deren Bilder auf correspondirende Netzhautstellen fallen, gegeben. Aber dieses Ziel wurde von Meissner nicht vollständig erreicht, weil er einerseits, wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, die combinirten Augenstellungen nicht mit genügender Vollständigkeit untersucht hatte, und weil er andererseits die transversale Verschiebung der Netzhautbilder bis zu einem gewissen Grade, aber doch nicht überall berücksichtigte. So reducirt sich bei ihm bei den asymmetrischen Convergenzstellungen der verticale Horopter, obgleich man auch hier dem verticalen Stab eine bestimmte Neigung geben kann, bei der die gekreuzten Doppelbilder desselben sich vereinigen, doch auf den fixirten Punkt, weil die vereinigten Doppelbilder immer noch mit ungleichen Punkten sich decken; ebenso ist bei ihm im strengsten Sinn, ausser bei paralleler Sehaxenstellung und 45° Neigung unter den Horizont, kein horizontaler Horopter vorhanden, und hierbei erwähnt Meissner nicht einmal, dass durch Drehung des horizontalen Stabes um eine verticale Axe auch hier die Winkelverschiebung der Doppelbilder aufgehoben werden kann. Andererseits aber fällt es Meissner nicht auf, dass, auch wenn die beobachtete horizontale Linie parallel der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte gehalten wird, ihre Bilder in beiden Augen nicht mit gleichen Punkten sich decken, wie die Construction als nothwendig ergiebt, und wie es, was ich nachher zeigen werde, auch der Versuch bestätigt. Dazu kommt weiter, dass Meissner den unrichtigen Schluss macht, sobald eine verticale und eine horizontale Linie einer Ebene einfach gesehen werde, müsse auch die ganze Ebene einfach erscheinen. Ich werde unten zeigen, dass weder die Theorie noch der Versuch dies be-

*) S. Meissner a. a. O. S. 5.

stätigen, dass in gewissen Augenstellungen gleichzeitig eine in der Visirebene gelegene gekrümmte Linie und eine zur Visirebene senkrechte Verticallinie auf correspondirende Netzhautstellen fallen, ohne dass deshalb der Horopter eine Cylinderfläche ist. — Nach diesen Erörterungen ist es leicht verständlich, wie sich der Meissner'sche Horopter gestalten musste. Er ist eine zur Visirebene senkrechte ebene Fläche bei paralleler Stellung der Sehaxen für jede Neigung der Visirebene und, wenn diese 45^0 unter den Horizont gerichtet ist, bei jedem Convergenzgrad; bei allen übrigen symmetrischen Convergenzstellungen der Sehaxen giebt es nur eine mittlere verticale Horopterlinie, welche immer zur Visirebene geneigt ist, und zwar bei allen Neigungen der Sehaxen oberhalb 45^0 mit ihrem obern Ende vom Beobachter weggekehrt ist, bei allen Neigungen unterhalb 45^0 mit ihrem obern Ende dem Beobachter zugekehrt ist; bei den asymmetrischen Convergenzstellungen endlich reducirt sich der Horopter auf einen Punkt, den Fixationspunkt.

Nach dieser Uebersicht über die Entwicklung der neuern Horopterlehre gehe ich zur definitiven Feststellung der Punkte des Raumes, deren Bilder auf correspondirende Netzhautstellen fallen, über; ich werde künftig von solchen Punkten einfach sagen: sie decken sich binokular; dieser Ausdruck ist kurz und schliesst nicht die Verwechslung von Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen und Einfachsehen in sich. Zuerst will ich untersuchen, was, die Augenstellungen als bekannt vorausgesetzt, sich a priori über den Ort dieser Punkte aussagen lässt, und dann werde ich zeigen, ob und wie das theoretisch gefundene auf dem Weg des Versuchs sich prüfen lässt.

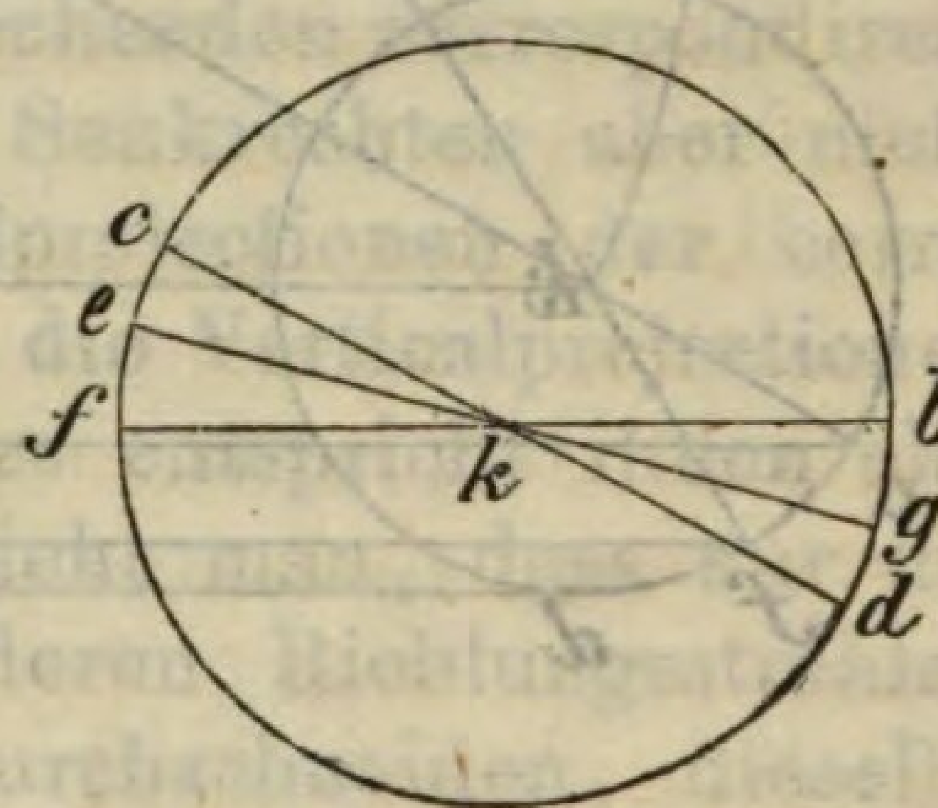
Es lassen zwei Arten von Incongruenz der Netzhautbilder beider Augen sich denken: nehmen wir an, beide Netzhäute seien in der jedem Auge zukommenden Stellung über einander gelegt, so decken sich entsprechende Punkte beider Netzhautbilder entweder deshalb nicht, weil der eine linear gegen den andern verschoben ist, oder deshalb nicht, weil der eine im Vergleich zum andern eine Winkelverschiebung erfahren hat. In Wirklichkeit werden in den meisten Fällen Verschiebungen beider Art stattfinden, aber eine vollkommene Deckung wird überhaupt nur dann stattfinden, wenn beide Verschiebungen Null sind. Nennen wir daher totalen Horopter den Inbegriff derjenigen Raumpunkte, für welche diese Bedingung verwirklicht ist, so können wir denselben aus einem Horopter der linearen Verschiebung und aus einem Horopter der Winkelverschiebung zusammensetzen: im ersteren ist im Allgemeinen die Winkelverschiebung, im zweiten die

lineare Verschiebung nicht aufgehoben, der totale Horopter aber ist die Gesammtheit derjenigen Punkte, in welchen der Horopter der linearen Verschiebung und der Horopter der Winkelverschiebung zusammentreffen. — Damit ist uns der Gang der Untersuchung vorgezeichnet: wir haben nach einander die letztgenannten partiellen Horopteren zu bestimmen, es ist dann der totale Horopter von selbst gegeben.

Um den Horopter der linearen Verschiebung zu ermitteln, nehmen wir an, es finde in sämmtlichen Augenstellungen keine Incongruenz durch Drehung um die Sehaxe statt, es frägt sich: welches sind bei dieser Voraussetzung die binokular sich deckenden Punkte im Raum?

Diese Punkte werden offenbar diejenigen sein, in denen die von den correspondirenden Netzhautstellen gezogenen Richtungsstrahlen sich schneiden. Denken wir uns, um diese Punkte zu finden, von beiden Augen eine gemeinsame Verticalprojection, Fig. 9., entworfen, *f b* sei die Projection beider Sehaxen, *k* die Projection der Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen. Die Verticalprojectionen der Richtungsstrahlen aller Punkte gehen durch die Projection *k*, man sieht ferner, dass, wenn die Projectionen zweier Richtungsstrahlen in *k* sich schneiden, dieselben in keinem andern Punkt des Raumes zusammenfallen können, Richtungsstrahlen aber, deren Projectionen keinen Punkt gemeinsam haben, können sich auch nirgends durchschneiden; wären also z. B. *c d* und *e g* die Projectionen zwei solcher Strahlen, von denen der eine dem rechten, der andere dem linken Auge zugehörte, so würde auf dem correspondirenden Punkte *c* und *e* nicht derselbe Punkt im Raum sich abbilden, für beide würde kein Horopterpunkt vorhanden sein.

Fig. 9.

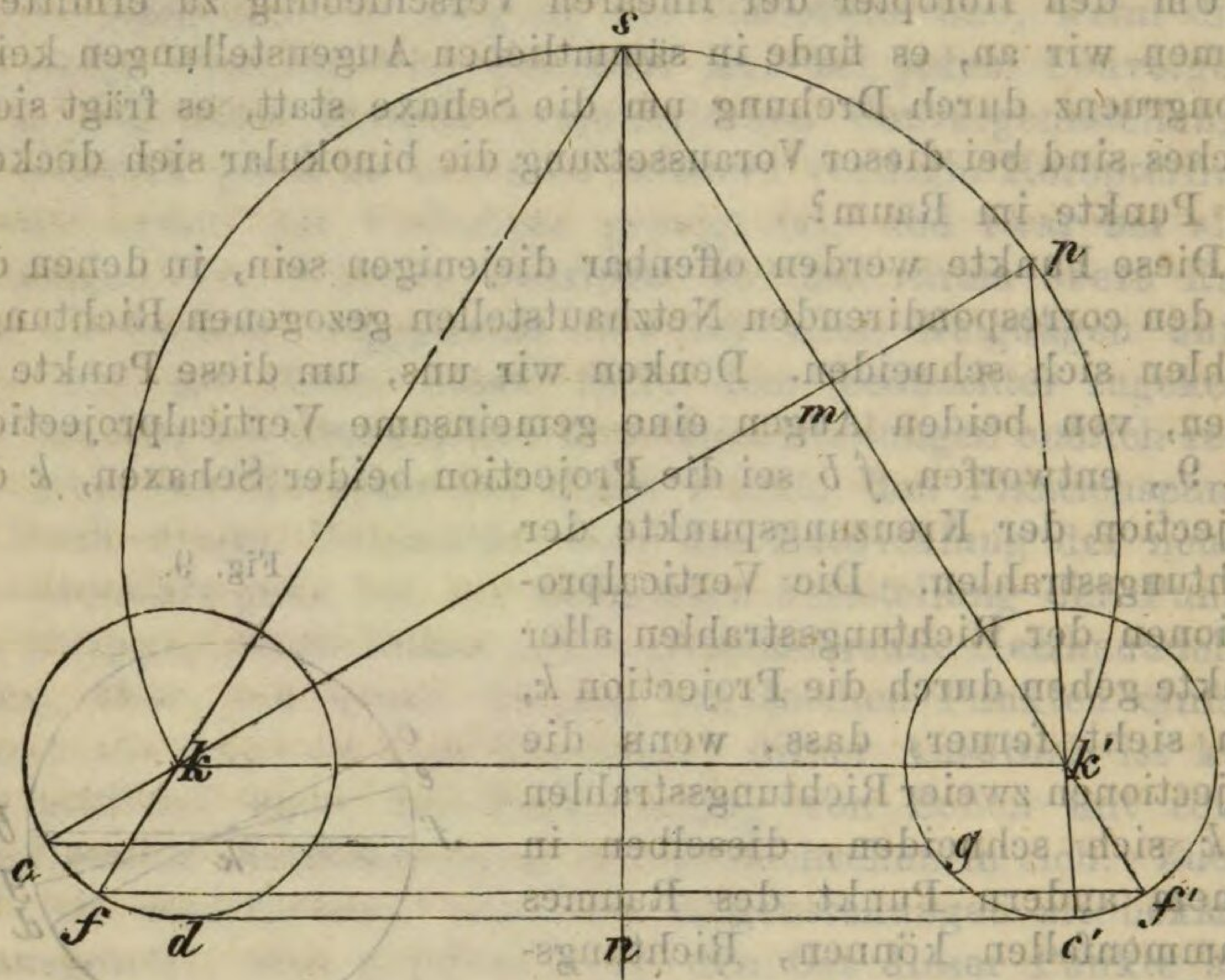


Es ist nun zunächst klar, dass sämmtliche Richtungsstrahlen, deren Verticalprojectionen mit *f b* zusammenfallen, der aufgestellten Bedingung genügen; die Netzhautpunkte aber, von denen diese Richtungsstrahlen ausgehen, sind in den durch die Sehaxen beider Augen gelegten grössten Kreisen gelegen. Alle Punkte, welche in dem durch die Visirebene aus beiden Augen ausgeschnittenen Meridian liegen, sind also in der Weise sich zugeordnet, dass der von jedem Punkt im Meridian des einen Auges ausgehende Richtungsstrahl sich in einem bestimmten Punkt des äussern Raumes mit einem vom correspondirenden

Punkt im andern Auge ausgehenden Richtungsstrahl schneidet. Die Aufgabe besteht jetzt nur noch darin, den Ort dieser Durchschnittspunkte im äussern Raum aufzufinden.

Fig. 10. sei der mit der Visirebene erhaltene Durchschnitt beider Augen, *k k'* seien die Kreuzungspunkte der Richtungs-

Fig. 10.



strahlen, *f s* und *f' s* die beiden Sehaxen. Correspondirend sind sich solche Punkte, die gleich weit von *f* oder *f'* und nach derselben Seite hin gelegen sind, z. B. die Punkte *c* und *c'*. Es frägt sich: wie ist der Durchschnittspunkt der Richtungsstrahlen *c p* und *c' p* zu dem Durchschnittspunkt *s* der beiden Sehaxen gelegen? Man sieht sogleich, dass in den Dreiecken *p m k'* und *s m k* die Winkel bei *k* und *k'* einander gleich sind, ebenso sind die Winkel bei *m* als Scheitelwinkel einander gleich, folglich müssen auch drittens die Winkel bei *s* und *p* einander gleich sein. Dasselbe lässt sich für die Durchschnittspunkte der Richtungsstrahlen je zwei anderer in dem gleichen grössten Kreis der Netzhäute gelegener correspondirender Punkte beweisen, d. h. die Winkel aller correspondirenden Richtungsstrahlen sind gleich, es sind somit diese Winkel Peripheriewinkel eines Kreises, der durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegt ist. Ein Abschnitt dieses Kreises, z. B. *s p*, umfasst die gleiche Anzahl von Winkelgraden wie

die Summe seiner Netzhautbilder, $cf + c'f'$, denn jedes dieser letzteren entspricht einem Centriwinkel, der Bogen sp aber einem Peripheriewinkel von gleicher Grösse.

Der in der Visirebene gelegene durch den fixirten Punkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreis enthält aber nicht alle Punkte, deren Netzhautbilder sich decken, sondern wenn es correspondirende Punkte über oder unter dieser Ebene giebt, deren Verticalprojectionen zusammenfallen, so werden auch die Verticalprojectionen ihrer Richtungsstrahlen zusammenfallen, und diese werden in irgend einem Punkt des äussern Raumes sich durchschneiden. Man denke sich irgend zwei solcher correspondirender Punkte über oder unter der Visirebene horizontal projicirt, f und f', c und c' seien z. B. solche Horizontalprojectionen. Man sieht nun leicht, ob die Verticalprojectionen dieser Punkte zusammenfallen oder nicht. Man errichte auf der Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte eine Senkrechte sn, dann ziehe man von den correspondirenden Punkten ff', cc' u. s. w. Senkrechte auf sn. Wenn diese Senkrechten zusammenfallen, so ist es klar, dass auch die Verticalprojectionen der entsprechenden correspondirenden Punkte zusammenfallen, wenn die Senkrechten aber nicht zusammenfallen, so sind die Verticalprojectionen der correspondirenden Punkte verschieden, und die Verticalprojectionen ihrer Richtungsstrahlen kreuzen sich, es entspricht ihnen also kein Horopterpunkt. In der Figur sieht man, dass nur die correspondirenden Punkte f und f', deren Richtungsstrahlen sich im Endpunkt der Linien sn durchschneiden, dieselbe Verticalprojection haben, während z. B. die Verticalprojectionen von c und c' mit nicht correspondirenden Punkten g und d zusammenfallen; die Richtungsstrahlen solcher nicht correspondirender Punkte, deren Verticalprojectionen zusammenfallen, kreuzen sich aber nirgends, sondern laufen einander parallel, es haben ferner diese Punkte eine um so differentere Lage, je grösser der Convergenzwinkel wird, und sie gehen in correspondirende Punkte über bei dem Convergenzwinkel Null, dann aber sind die Richtungsstrahlen aller correspondirenden Punkte parallel gerichtet, auch diejenigen, deren Horizontalprojectionen nach f und f' fallen. Da in diesem Fall zugleich der Halbmesser des durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegten Kreises unendlich gross wird, so folgt, dass bei parallel gerichteten Sehaxen der Horopter eine ebene Fläche ist. Bei allen Convergenzstellungen dagegen haben ausser den Richtungsstrahlen, die von den correspondirenden Punkten in der Visirebene kommen, nur diejenigen correspondirenden

Richtungsstrahlen einen Durchschnittspunkt im Raume, deren Horizontalprojection den horizontalen Horopterkreis da trifft, wo er von einer in der Visirebene auf die Mitte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichteten senkrechten Linie geschnitten wird. Die Netzhautpunkte, denen diese Richtungsstrahlen entsprechen, sind jederseits in einem grössten Kreis der Netzhaut gelegen, der zu dem grössten Kreis der horizontalen Horopterpunkte senkrecht steht, und der in jedem Auge von einer durch den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen auf der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichteten senkrechten Ebene nach aussen abweicht, um einen Winkel, welcher gleich der Hälfte des Convergenzwinkels ist. Die Punkte im Raume, in welchen die von diesen Netzhautpunkten ausgehenden Richtungsstrahlen sich durchschneiden, sind aber in einer Linie gelegen, die zur Visirebene in dem Punkte senkrecht steht, wo eine in der Visirebene mitten auf der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte errichtete Senkrechte den horizontalen Horopterkreis trifft.

Der Horopter der linearen Verschiebung besteht somit bei allen Convergenzstellungen aus einem durch den fixirten Punkt und die Augenmittelpunkte gelegten Kreis und aus einer in der Mitte der Peripherie dieses Kreises auf seine Ebene errichteten senkrechten Linie. Dieser Horopter hat daher eine constante Lage zur Visirebene, welche Neigung diese auch haben mag, und er ist, wenn der Convergenzwinkel derselbe bleibt, unabhängig von der Lage des fixirten Punktes, er ist derselbe, ob der fixirte Punkt in der Mittelebene oder seitlich gelegen ist, ob also die Augenstellung eine symmetrische oder asymmetrische ist, im erstern Fall geht aber die verticale Horopterlinie durch den fixirten Punkt, während dieser im letztern Fall seitlich von derselben abweicht.

Ich gehe jetzt über zur Bestimmung des Horopters der Winkelverschiebung. Hier ist die Aufgabe, diejenigen Raumpunkte zu finden, in Bezug auf welche die Winkelverschiebung correspondirender Netzhautpunkte verschwindet, ohne Rücksicht auf eine etwa dann noch vorhandene geradlinige Verschiebung derselben. Die Lösung dieser Aufgabe ist bereits im vorigen Abschnitt geschehen, wo wir die durch die Drehung um die Sehaxe bedingte Incongruenz der Netzhäute experimentell bestimmten. Wir haben dort zugleich gesehen, dass es immer zwei symmetrische Lagen der Objectebene giebt, für welche diese Incongruenz aufgehoben ist. Die Lage dieser Ebenen weicht von der auf der Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechten Ebene (dem binokularen Sehfeld) um so mehr ab,

je stärker die Incongruenz der Netzhäute ist, und sie fällt mit derselben zusammen, wenn kein Auge in Bezug auf das gewählte binokulare Sehfeld eine Drehung um die Sehaxe erfahren hat, dann gehen also beide Ebenen in eine einzige über. Der Horopter der Winkelverschiebung ist somit immer in zwei Ebenen, beziehungsweise in einer Ebene gegeben. Im letztern Fall bedeutet dies entweder, dass überhaupt keine Incongruenz der Netzhäute vorhanden ist, und dies dann, wenn die Sehaxen parallel gerichtet sind, also die monokularen Sehfelder mit dem binokularen Sehfeld zusammenfallen, oder wenn die Visirebene horizontal steht, oder es bedeutet nur, dass keine Incongruenz vorhanden ist in Bezug auf das binokulare Sehfeld, und dies dann, wenn die Sehaxen in einer Convergenzstellung sind, und die Visirebene geneigt ist.

Der totale Horopter ergiebt sich aus dieser Bestimmung der partiellen Horopteren unmittelbar. Gehen wir aus von den symmetrischen Convergenzstellungen, bei welchen Winkelverschiebung in Bezug auf das binokulare Sehfeld vorhanden ist. Der Horopter der linearen Verschiebung ist hier eine durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreislinie und eine im Fixationspunkt zur Visirebene errichtete Senkrechte. Von den Punkten dieses Horopters bleibt zunächst trotz der Winkelverschiebung der fixirte Punkt stehen, der natürlich unter allen Umständen auf correspondirende Netzhautstellen fällt, dagegen wird die im Fixationspunkt errichtete Senkrechte wegen der Winkelverschiebung in gekreuzten Doppelbildern gesehen, man kann sie aber alsbald auf correspondirende Netzhautstellen überführen, wenn man sie um einen bestimmten Winkel nach einer Richtung hin dreht, dann kommt nämlich die Linie in den verticalen Durchschnitt des Horopters der Winkelverschiebung zu liegen, d. h. dahin wo die Ebenen des letzteren Horopters sich durchschneiden. Geht also die Neigung der Doppelbilder nach innen (die Drehung des Auges nach aussen), so muss jene Linie mit ihrem obern Ende vom Auge weggedreht werden, geht die Neigung der Doppelbilder nach aussen (die Drehung des Auges nach innen), so muss die Linie mit ihrem obern Ende gegen das Auge zu gedreht werden. Der in der Visirebene gelegene Horopterkreis endlich hat zwei Punkte mit den Horopterebenen der Winkelverschiebung gemeinsam, alle übrigen Punkte desselben fallen auf disparate Netzhautstellen. Bei allen symmetrischen Convergenzstellungen mit Winkelverschiebung ergiebt sich uns somit als totaler Horopter eine in der Medianebene durch den Fixationspunkt gezogene Linie, die irgend wie zur Visirebene geneigt ist, und zwei in

der Visirebene gelegene Punkte, rechts und links in gleichem Abstand vom Fixationspunkt und einer durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gezogenen Kreisperipherie angehörig. Der totale Horopter reducirt sich somit in diesem Falle auf eine verticale Horopterlinie und zwei horizontale Horopterpunkte. Je grösser in der vorhandenen Augenstellung die Winkeldrehung ist, um so stärker wird die Neigung der verticalen Horopterlinie zur Visirebene, und um so grösser wird der Abstand der horizontalen Horopterpunkte vom Fixationspunkt.

Ist die Convergenzstellung der Augen eine asymmetrische, so bleibt, wie wir gesehen haben, der Horopter der linearen Verschiebung derselbe, aber die zur Visirebene senkrechte Horopterlinie geht in diesem Fall nicht durch den fixirten Punkt, sondern liegt zur Seite desselben. Es gehört daher kein Punkt dieser Linie dem totalen Horopter an, und es lässt sich dieselbe auch nicht in den letzteren überführen, denn, wenn man auch durch Neigung der Linie die Kreuzung ihrer Doppelbilder zum Verschwinden bringt, so decken sich dieselben mit ungleichen Punkten, d. h. man hat der Winkelverschiebung eine lineare Verschiebung substituirt. Bei allen asymmetrischen Convergenzstellungen reducirt sich daher der totale Horopter auf den fixirten Punkt und zwei in gleichem Abstand von demselben rechts und links befindliche Punkte. Der ganze Horopter besteht in diesem Fall aus drei horizontalen Punkten, deren Abstand um so grösser wird, je grösser die Winkeldrehung der Augen ist.

Endlich haben wir noch diejenigen Convergenzstellungen ins Auge zu fassen, für welche die Winkeldrehung in der Projection auf das binokulare Sehfeld Null ist. Es sind dies immer nur symmetrische Convergenzstellungen. Hier geht offenbar der Horopter der queren Verschiebung unmittelbar in den totalen Horopter über: die verticale Horopterlinie wird senkrecht zur Visirebene, und die horizontalen Horopterpunkte erweitern sich zu einer Kreislinie.

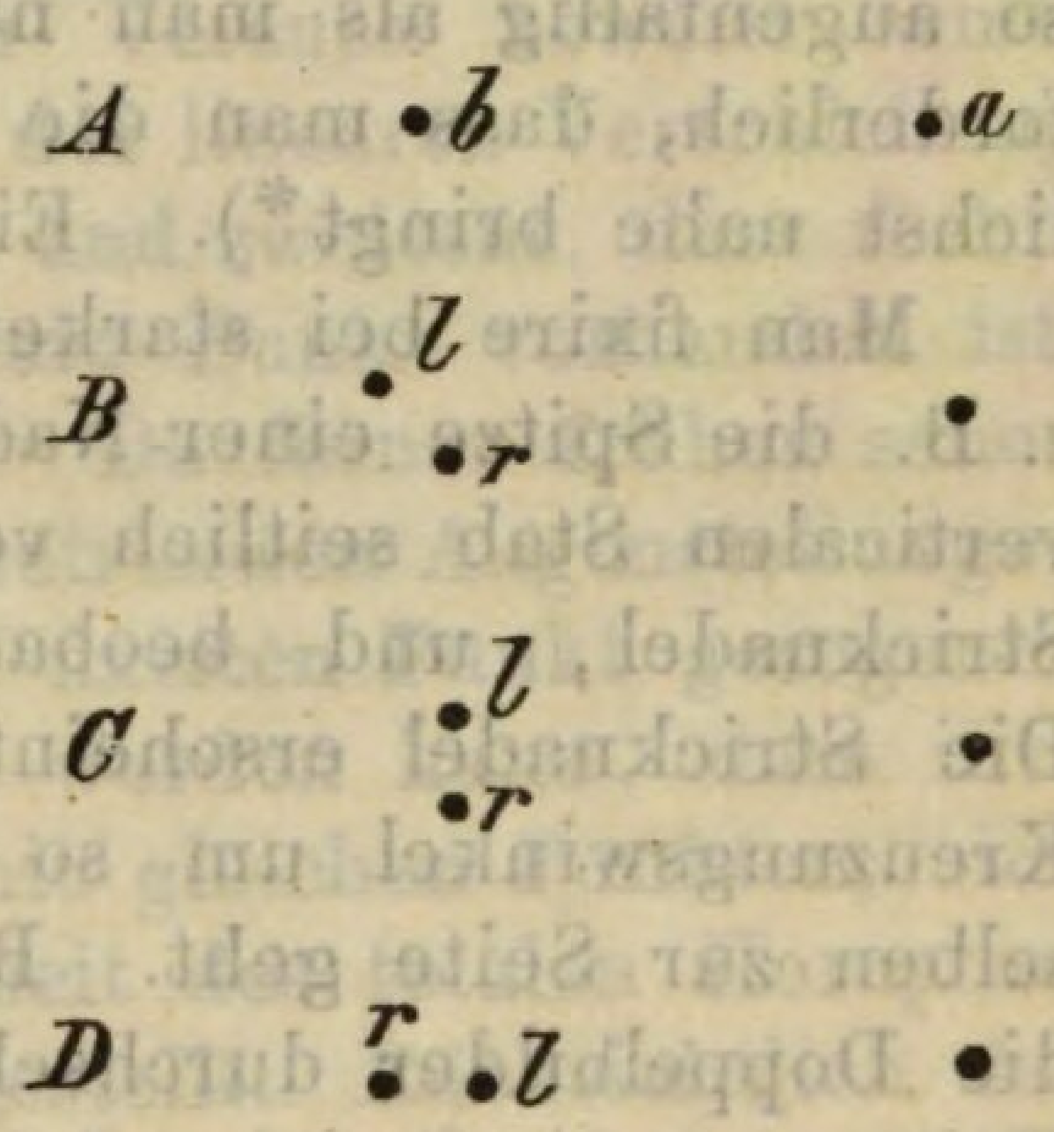
Wir haben somit in Bezug auf den totalen Horopter vier Fälle zu unterscheiden: 1) bei paralleler Augenstellung ist der Horopter eine ebene zur Richtung der Sehaxen senkrechte Fläche, (wir sehen hierbei ab von den geringen Incongruenzen, die bei paralleler Augenstellung vorkommen,) 2) bei den symmetrischen Convergenzstellungen ohne Winkeldrehung ist der Horopter eine durch den Fixationspunkt und die Augenmittelpunkte gelegte Kreislinie und eine im Fixationspunkt senkrecht zur Visirebene errichtete Gerade, 3) bei den symmetrischen Convergenzstellungen mit Winkeldrehung ist der Horopter eine

in der Mittelebene durch den Fixationspunkt gezogene Gerade, die zur Visirebene geneigt ist, nebst zwei in gleichem Abstand von derselben in der Visirebene befindlichen Punkten, 4) bei den asymmetrischen Convergenzstellungen besteht der Horopter aus dem fixirten Punkt und zwei andern gleichfalls in der Visirebene und in gleichem Abstand von ihm gelegenen Punkten.

Es bleibt mir jetzt noch die Aufgabe, die in Bezug auf den totalen Horopter gefundenen Thatsachen direct auf experimentellem Wege zu prüfen.

Die Lage des Horopters der linearen Verschiebung und des Horopters der Winkelverschiebung zu einander lässt sich durch folgenden einfachen Versuch zeigen. Man mache zwei möglichst feine Punkte, *a b* Fig. 11. *A*, auf ein Blatt Papier, bringe dieses in die Lage des binokularen Sehfeldes und fixire scharf den Punkt *a*, der Punkt *b* erscheint in allen Fällen in Doppelbildern, die, wenn blos Winkeldrehung stattgefunden hat, in senkrechter Richtung aus einander weichen müssen, wie in *C*, die, wenn blos lineare Verschiebung vorhanden ist, in horizontaler Richtung aus einander weichen müssen, wie in *D*, und die, wenn beide Arten von Verschiebung vorhanden sind, nach beiden Richtungen hin verschoben sind. Erscheint also der Punkt *b* wie in *C*, so ist er im Horopter der linearen Verschiebung gelegen, erscheint er wie in *D*, so ist er im Horopter der Winkelverschiebung gelegen, erscheint er wie in *B*, so liegt er ausserhalb beider Horopteren, erscheint er aber wie in *A*, so fällt er mit beiden Horopteren, d. h. mit dem totalen Horopter, zusammen. Man halte nun z. B. bei horizontaler Richtung der Visirebene das Papier senkrecht zu derselben und fixire in starker Convergenz den Punkt *a*. Man sieht dann den Punkt *b* in Doppelbildern, die wie in *B* gegen einander verschoben sind, *r* gehört dem rechten, *l* dem linken Auge an, wie man sich durch abwechselndes Schliessen des einen und andern Auges leicht überzeugt. Dreht man jetzt das Papier um eine durch *a* gelegte verticale Axe, indem man *b* dem Angesicht nähert, so kommen sehr bald die Doppelbilder in die Lage *C*, und bei weiterer Drehung gehen sie endlich in die Lage *D* über. Die Stellung, welche die Doppelbilder *l* und *r* in *B* und C zu einander zeigen, entspricht einer Winkeldrehung derselben nach innen, also einer

Fig. 11.



Drehung des Auges nach aussen, wie sie nach unsern frühern Versuchen in der That in dieser Augenstellung vorhanden ist. — Man kann den Versuch, wenn er eine hinreichend deutliche Beobachtung der Doppelbilder zulassen soll, nicht wohl so einrichten, dass man den Punkt *b* direct in den totalen Horopter bringt, also unmittelbar das Bild *A* erhält, da bei den starken Convergenzstellungen, die man wählen muss, die Entfernung der horizontalen Horopterpunkte zu gross ist, um eine deutliche Beobachtung derselben im indirecten Sehen zu gestatten; dagegen lässt sich leicht constatiren, dass die horizontale Entfernung der Doppelbilder *r* und *l* in *D* um so kleiner wird, je weiter man mit *b* von *a* wegrückt.

Man erhält ganz analoge Resultate bei andern Stellungen der Visirebene. Bei einiger Uebung im indirecten Sehen und bei geeigneter Entfernung der fixirten Punkte ist der Versuch so augenfällig als man nur wünschen kann. Besonders ist erforderlich, dass man die beobachteten Punkte dem Auge möglichst nahe bringt*). Ein zweiter Versuch ist folgender:

Man fixire bei starker Convergenz einen bestimmten Punkt, z. B. die Spitze einer Nadel. Man halte einen möglichst feinen verticalen Stab seitlich vom Fixationspunkte, z. B. eine dünne Stricknadel, und beobachte dieselbe im indirecten Sehen. Die Stricknadel erscheint in gekreuzten Doppelbildern, deren Kreuzungswinkel um so grösser wird, je mehr man mit derselben zur Seite geht. Beachtet man scharf den Ort, wo sich die Doppelbilder durchschneiden, so bemerkt man Folgendes. Hält man die Stricknadel so, dass ihr Durchschnitt mittelst der Visirebene mit dem fixirten Punkt in einer zur Verbindungslinie der Augenmittelpunkte parallelen Geraden liegt, so befindet sich der Durchschnittspunkt etwas höher als der fixirte Punkt. Rückt man mit der Stricknadel ferner, so rückt der Durchschnittspunkt noch mehr in die Höhe, geht man mit derselben näher, so rückt dagegen der Durchschnittspunkt herab, er kommt zuerst mit dem Fixationspunkt in eine Höhe zu

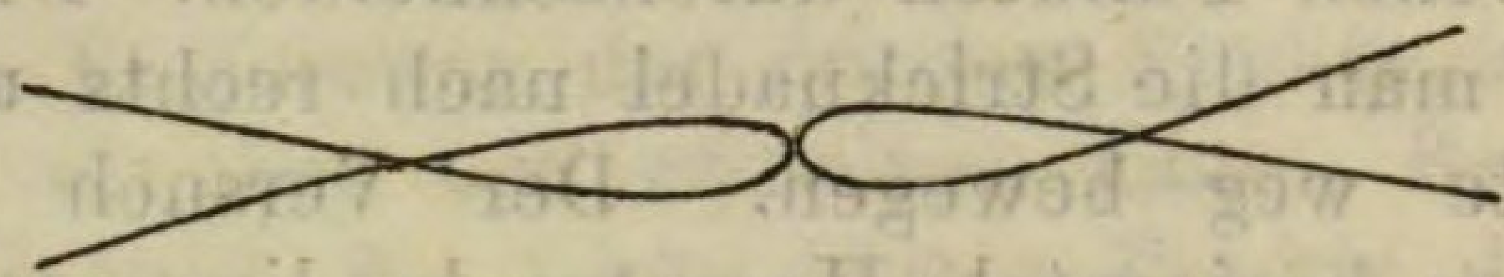
*) Die obigen Versuche stehen mit den von Meissner S. 59 u. fg. seiner „Beiträge“ beigebrachten Angaben in directem Widerspruch. Ich kann nicht entscheiden, ob dieser Widerspruch darin seine Ursache hat, dass bei Meissner die oben angeführte Vorsichtsmassregel nicht erfüllt war. Diejenigen, die mit Rücksicht hierauf diese Versuche wiederholen wollen, werden, wenn sie im indirecten Sehen einigermassen geübt sind, leicht die obigen Angaben bestätigen können. Noch bemerke ich, dass Kurzsichtige hier wie bei den Horopterversuchen überhaupt begünstigt sind, da die Erscheinungen bei stärkeren Convergenzgraden immer auffallender werden. Solche, die nicht kurzsichtig sind, werden daher gut thun, ihr Auge für diese Versuche mit einer Convexbrille zu bewaffnen.

liegen und sinkt dann bei weiterer Annäherung immer tiefer. Die Punkte, mit welchen sich die Doppelbilder durchschneiden, sind aber verschiedene; man bemerkt dies daran, dass das eine Doppelbild etwas über das andere hervorragt. Bewegt man, nachdem die Stricknadel in solche Entfernung gebracht ist, dass der Durchschnittspunkt ihrer Doppelbilder mit dem fixirten Punkt in gleicher Höhe liegt, dieselbe nach der Seite, indem man sie so zu bewegen sucht, dass jener Durchschnittspunkt in der gleichen Höhe bleibt, so bemerkt man, dass man hierzu ein Stück einer Kreislinie beschreiben muss. Achtet man bei dieser Bewegung zugleich auf die ungleiche Höhe der Doppelbilder, so findet man, dass diese Ungleichheit immer kleiner wird, dass man sich also einem Ort nähert, wo sich die Doppelbilder mit gleichen Punkten durchschneiden. Dieser Erfolg ist derselbe, mag man die Stricknadel nach rechts und links vom fixirten Punkte weg bewegen. Der Versuch beweist somit erstens, dass der horizontale Horopter der linearen Verschiebung wirklich einer Kreislinie nahe kommt, und zweitens, dass rechts und links vom fixirten Punkt noch ein Punkt vorhanden ist, der dem totalen Horopter angehört. Da ferner früher schon gezeigt worden ist, dass bei den symmetrischen Augenstellungen einer in der Medianebene durch den fixirten Punkt gezogenen Linie eine solche Neigung gegeben werden kann, dass ihre Doppelbilder vollständig, und zwar mit gleichen Punkten, sich decken, so ist damit die Beschaffenheit des totalen Horopters auch auf experimentellem Wege festgestellt. Rücksichtlich der Anstellung des letzterwähnten Versuchs will ich jedoch noch bemerken, dass, um bei demselben nicht in Irrthum zu verfallen, hauptsächlich eine unverrückte Fixation geboten ist und jedes Schielen nach dem indirect gesehenen Gegenstand hin, wozu man leicht geneigt ist, durchaus vermieden werden muss. Um ferner beobachten zu können, ob die Doppelbilder der Stricknadel mit gleichen oder ungleichen Punkten sich decken, darf man das obere Ende derselben nur etwa um einen Zoll über die Höhe des fixirten Punktes hervorragen lassen, damit man die grössere Höhe des einen oder andern Doppelbildes noch leicht bemerken kann.

Zum Schlusse will ich noch einen Versuch angeben, mittelst welchen man sich die Gestalt des horizontalen Theils des totalen Horopters unmittelbar zur Anschauung bringen kann. Man zeichne auf ein Papier eine möglichst feine horizontale Linie, markire in der Mitte derselben einen Punkt und fixire diesen Punkt bei starker Convergenz. Man sieht dann, wenn man das Papier zur Visirebene senkrecht hält, die Linie in Doppel-

bildern, die im fixirten Punkt sich kreuzen. Nun gebe man dem Papier, während man den Fixationspunkt unverrückt lässt, eine cylindrische Krümmung, so dass die beobachtete Linie ein Stück eines Kreises bildet. Alsbald bemerkt man, dass auch die vorher geraden Doppelbilder der Linie sich krümmen, und wenn der Kreis, in den man diese gerollt hat, die geeignete Krümmung hat, so ist die Krümmung beider Doppelbilder symmetrisch. Dann aber durchschneiden sich die Curven der Doppelbilder nicht nur im fixirten Punkt, sondern auch rechts und links von demselben in gleich weit entfernten Punkten, und auch diese Durchschnittspunkte gehören entsprechenden Punkten beider Doppelbilder an. Fig. 12. zeigt die Form,

Fig. 12.



welche die Doppelbilder in diesem Fall annehmen. — Verändert man die Krümmung des Papiers, so ändern auch die seitlichen Durchschnittspunkte der Doppelbilder ihren Ort, zugleich aber ändert sich die Krümmung der Doppelbilder so, dass sie sich nicht mehr mit identischen Punkten durchschneiden.

Die mitgetheilten Versuche bestätigen vollständig die in Bezug auf den totalen Horopter gezogenen Folgerungen. Jetzt würde es sich darum handeln, die Frage zu beantworten: welchen Werth haben diese Ermittelungen für unsere Gesichtswahrnehmungen? — Ich habe schon oben erwähnt, dass man durchweg der Hypothese gehuldigt hat, Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen sei mit einander identisch. Sollte diese Hypothese richtig sein, so wären mit der Feststellung des totalen Horopters die hauptsächlichsten Probleme erledigt, die in Bezug auf das Sehen mit zwei Augen sich aufstellen lassen: es würde damit unmittelbar der Ort der einfach- und der doppeltgesehenen Objectpunkte im Raume gegeben sein, es würde sich nur darum handeln für jede bestimmte combinirte Augenstellung den Horopter zu construiren. — Ich habe bereits darauf hingewiesen, dass jene Hypothese nicht hinreichend in der Beobachtung begründet zu sein scheint, es wurde auch schon auf einen einzelnen Fall aufmerksam gemacht, der mit jener Hypothese nicht in Uebereinstimmung steht. Es wird die Aufgabe des folgenden Abschnittes sein, diese Untersuchung methodisch aufzunehmen, um wo möglich definitiv die Frage zur Entscheidung zu bringen, in welcher Weise Ein

fachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen zusammenhängen.

4. Ueber die binokulare Tiefenwahrnehmung.

Wheatstone ist der erste gewesen, dessen Aufmerksamkeit auf die Thatsache gerichtet wurde, dass von nahen Objecten in jedem Auge eine verschiedene perspectivische Ansicht entworfen wird. Die Bemerkung dieser Thatsache hat ihn bekanntlich zur Erfindung des Stereoskopes geführt, dieses wichtigsten Werkzeuges, das die experimentelle Psychologie bis heute besitzt. Durch die Zergliederung der natürlichen und der künstlich erzeugten stereoskopischen Erscheinungen wurde aber Wheatstone veranlasst, die Lehre von der Identität der Netzhautstellen anzugreifen. Dass in zahlreichen Fällen mit nicht correspondirenden Stellen einfach gesehen werde, bewiesen ja die stereoskopischen Versuche, und dass unter Umständen mit correspondirenden Netzhautstellen sogar doppelt gesehen werde, glaubte Wheatstone gleichfalls durch den Versuch beweisen zu können. Dieser Versuch ist folgender*):

Man biete dem rechten Auge eine verticale und dem linken eine etwas geneigte Linie dar; bringt man beide Bilder zur Vereinigung, so sieht man eine Linie, die mit ihrem obern Ende jenseits der Ebene des Papiers liegt, mit ihrem untern Ende sich gegen das Auge zu erstreckt. Es werde nun durch den Mittelpunkt der dem linken Auge dargebotenen geneigten Linie eine verticale Linie gezogen, welche der für das rechte Auge bestimmten Verticallinie vollkommen parallel, aber etwas schwächer ist. Bringt man nun die Linien wieder zur Vereinigung, so kann man zwar jetzt auch die zwei parallelen Linien vereinigen, und es ist dann überhaupt keine stereoskopische Erscheinung vorhanden, aber man ist viel geneigter, die nicht parallelen Linien zur Vereinigung zu bringen, weil sie beide stärker gezogen sind. Dann sieht man aber die vereinigte Linie stereoskopisch wie vorhin, nur die schwächer gezogene Linie ist deutlich von ihr getrennt. Das Sammelbild scheint sich nämlich in die Tiefe und zugleich etwas nach rechts zu erstrecken, die schwächer gezogene Linie behält aber vollkommen ihre Lage bei, d. h. sie bleibt vertical und in der Ebene des Papieres**).

*) Wheatstone, Poggendorff's Annalen. Bd. 51. Ergänzungsband. 1842. S. 30.

**) Volkmann hat zwar der Angabe Wheatstone's widersprochen (Graefe's Arch. f. Ophthalm. V. 2. S. 72), aber es scheinen mir seine

Durch die Entdeckungen Wheatstone's ist die Lehre von der Identität der Netzhäute erschüttert, aber keineswegs gestürzt worden. Der Grund dieses geringen Erfolges liegt darin, dass es Wheatstone nicht gelang, das Gesetz aufzufinden, nach welchem das Einfachsehen der Objecte sich richtet; er versprach zwar einige Bedingungen, die er in Bezug auf das Einfach- und Doppelsehen aufgefunden habe, in einer künftigen Abhandlung mitzutheilen, aber dieses Versprechen ist unerfüllt geblieben. So kam es, dass die Identitätslehre selber sich jener Beobachtungen, die ursprünglich ihren Sturz zu veranlassen schienen, bemächtigte; da man eine neue Lehre an die Stelle der alten nicht zu setzen vermochte, so wurde der Versuch gemacht, die von Wheatstone gefundenen Thatsachen, deren wesentlichen Inhalt Jedermann bestätigen musste, in einer Weise zu deuten, dass sie sich dem Identitätsprincip zu fügen schienen. Es sind zwei verschiedene Erklärungsarten der stereoskopischen Erscheinungen entstanden, welche dies Ziel auf verschiedenen Wegen zu erreichen suchten, und von denen man die eine als eine physikalische, die andere als eine psychologische Hypothese bezeichnen kann.

Brücke suchte die Verschmelzung differenter Bilder und die daraus hervorgehende Tiefenwahrnehmung aus den Augenbewegungen abzuleiten*). Er ging dabei von der Thatsache aus, dass wir nie einen Körper in seiner Totalität vollkommen deutlich sehen, sondern immer nur den Punkt, in welchem die Sehaxen sich kreuzen. Er sagt nun, um ein deutliches Bild von einem Object zu gewinnen, fixiren wir in der Zeitfolge die verschiedensten Punkte desselben, bringen also nach einander die verschiedensten Punkte auf identische Netzhautstellen, und zwar auf die Stellen des deutlichsten Sehens, deren Empfindungen vor denen der seitlich gelegenen Netzhautstellen stets prävaliren. Fixiren wir nun bei der Betrachtung uns naher körperlicher Gegenstände oder bei den stereoskopischen Versuchen nach einander verschiedene Punkte des Objektes, so erfährt dabei unsere Sehweite fortwährende Schwankungen,

Ausstellungen auf einem Missverständniss zu beruhen, das allerdings durch die unklare Ausdrucksweise Wheatstone's veranlasst wurde. Volkmann scheint nämlich die Sache so aufzufassen, als wenn Wheatstone meine, die schwache Linie verändere ihren Ort im Sammelbild, d. h. habe im Sammelbild einen andern Ort als vorher. Dies würde allerdings unrichtig sein. Wenn Wheatstone das Richtige gemeint hat, so kann er nur sagen wollen, dass die schwache Linie einen andern Ort einnehme als das Sammelbild der beiden starken Linien; diese Thatsache ist es aber gerade, die mit der strengen Identitätslehre im Widerspruch steht.

*) Müller's Archiv. 1841. S. 459.

wir laufen mit unserer Sehweite fortwährend vom entferntesten zum nächsten Punkt des Gegenstandes und umgekehrt, und dieses Schwanken der Sehweite giebt uns unmittelbar den Eindruck eines einfachen Gegenstandes, weil wir die verschiedenen Punkte desselben auf die identischen Punkte des deutlichsten Sehens bringen, und eines nach drei Dimensionen sich ausdehnenden Körpers, weil unsere Sehaxenconvergenz fortwährend wechselt und wir jeden deutlich gesehenen Punkt an die Stelle des Raumes verlegen, wo sich unsere Sehaxen kreuzen.

Der Ansicht von Brücke im Wesentlichen gleich war die Anschauung, die Tourtual vertrat und experimentell zu stützen suchte.*) Die Hauptschwierigkeit dieser Erklärungsweise lag darin, dass sie den die räumliche Tiefenwahrnehmung vermittelnden Augenbewegungen eine enorm grosse Geschwindigkeit zumuthete, da die Beobachtung zeigte, dass die stereoskopische Täuschung zu ihrem Entstehen oft eine nicht merkliche Zeit in Anspruch nahm, und dies war zugleich der Punkt, in welchem die Hypothese einer strengen experimentellen Prüfung zugänglich war, denn die Geschwindigkeit der Augenbewegungen ist messbar, und die Dauer der Gesichtseindrücke lässt sich in hohem Grade begrenzen. Die Hypothese hat diese Prüfung nicht bestanden. Dove**) zeigte zuerst, dass das körperliche Sehen durch das Stereoskop auch noch möglich ist bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken, also bei einer Dauer der Gesichtseindrücke, die jede Augenbewegung vollkommen ausschliesst. Derselbe Beweis ist von Volkmann mittelst eines eigenen Instrumentes geführt worden, das momentane Beleuchtung der stereoskopischen Objecte mit Tageslicht zuliess.***) — Es ist keine Frage, dass durch diese Versuche die Hypothese in der Form, in der sie aufgestellt wurde, als widerlegt zu betrachten ist; aber es wird noch zu untersuchen sein, ob nicht dennoch Brücke in Bezug auf die erste Entstehung der Tiefenwahrnehmung das Richtige getroffen hat, und ob nicht der Fehler der Hypothese blos darin besteht, dass sie das, was nur bei der Entwickelung der Wahrnehmungen wirksam war, auf jede einzelne spätere Wahrnehmung ausdehnte; ich werde auf diese Frage unten wieder zurückkommen.

*) Tourtual, Die Dimension der Tiefe. Münster. 1842.
**) Monatsberichte der Berliner Akademie. 1841. S. 251.
***) Sitzungsberichte der Gesellschaft d. Wissensch. zu Leipzig. 1859.

Die Widerlegung der Brücke'schen Erklärungsweise hat die psychologische Hypothese zur herrschenden erhoben. Nur von Panum wurde noch neuerdings der Versuch gemacht, eine physikalische oder vielmehr anatomische Hypothese zu bilden, welche den Thatsachen genügen sollte.*) Panum gerieth auf den Gedanken, die Theorie der Empfindungskreise, die E. H. Weber im Gebiet des Tastsinns zuerst aufgestellt, und die man dann auch auf das Auge angewandt hatte, auf das binokulare Sehen auszudehnen. Er sagte daher: jeder empfindende Netzhautpunkt des einen Auges hat einen correspondirenden Empfindungskreis im anderen Auge, der mit jenem zusammen eine einheitliche Empfindung vermittelt Die horizontale Ausdehnung dieser correspondirenden Empfindungskreise ist, nach Panum, um das 17—34 fache grösser als die horizontale Ausdehnung eines Empfindungskreises im einzelnen Auge. — Damit glaubte Panum das thatsächlich vorhandene Einfachsehen mit nicht correspondirenden Punkten vollkommen befriedigend erklären zu können; aber das eigenthümliche Phänomen der Tiefenwahrnehmung, das hierbei auftritt, hatte natürlich für diese Erklärungsweise ihre Schwierigkeiten; denn ist ein ganzer Empfindungskreis einem correspondirenden Punkt physisch gleichwerthig, so müsste natürlich auch erwartet werden, dass er in der Beziehung des Eindrucks auf äussere Objecte ihm gleichwerthig sei. Panum sah jedoch keine Schwierigkeit, diesen Knoten zu durchhauen, indem er zur Erklärung des Phänomens der Tiefenwahrnehmung eine zweite Hypothese ersann, die freilich mit der ersten nicht vereinbar wäre, wenn Panum nicht auf das Feld der angeborenen Sinnesenergieen sich gerettet hätte, das bekanntlich ein breites Gebiet ist, auf dem Vieles was sich nicht verträgt Platz hat. Panum meint, wir dürften es als Thatsache ansehen, „dass wir einen jeden Netzhautpunkt, in Folge einer eigenthümlichen, angeborenen Sinnesempfindung, nicht durch das Urtheil, auf die ihm entsprechende Projectionslinie beziehen, und dass die Art der Empfindung der Tiefe, welche dem binokularen Sehen eigen ist, durch die wirklich empfundene Beziehung der Projektionslinien auf einander zu Stande kommt.“ Er schliesst daher weiter, es müsse „diese Empfindungsweise, ebensogut wie jede andere, im Gehirn, im Centralapparat für das Sehen, den wir, der leichteren Bezeichnung halber, centrale Retina genannt haben, ge-

*) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.

sucht werden. Hält man nun die gegenwärtige Hypothese fest, so muss man annehmen, dass jeder empfindende Punkt der centralen Retina für eine bestimmte Augenstellung zwar verschiedene Richtungsempfindungen habe, den Richtungen der Projectionslinien der demselben angehörigen Netzhautpunkte entsprechend. Die Beziehungen dieser Richtungsempfindungen zum äusseren Raume müssen sich aber ferner wie die Richtung der Projectionslinien selbst mit der Augenstellung ändern, so dass unzählige Richtungsempfindungen für jeden empfindenden Hirnpunkt möglich sein müssen, zugleich aber beim binokularen Sehen zwei, und nur zwei. Will man die gegenwärtige Hypothese auch hier consequent durchführen, so muss man ferner annehmen, dass die Richtungsempfindungen erst durch ihre Beziehung auf einander zu bestimmten, und bezüglich der Tiefe oder des relativen Abstandes fixirten Ortsempfindungen oder zur Empfindung der binokulären Parallaxe werden. Weiter lässt sich aber hier diese Hypothese nicht verfolgen, da unsere Kenntniss über den Ursprung der den einzelnen Netzhautpunkten entsprechenden Fasern im Hirn, und über die Anordnung der hieher gehörigen mikroskopischen Elemente so überaus gering ist, dass ein jeder Versuch, dies mit dem feineren Bau in Zusammenhang zu bringen, von vornherein unmöglich ist, selbst abgesehen davon, dass wir über die Art der Beziehung der Seele oder des empfindenden Bewusstseins zu den Nervenelementen durchaus Nichts wissen."

Ich habe die Hypothese Panum's mit seinen eigenen Worten hier ausführlich angeführt, weil es mir unmöglich gewesen ist, sie in einem Auszug klar wiederzugeben, und weil doch in derselben ein Punkt enthalten ist, wegen dessen ich sie nicht ganz übersehen konnte. Dieser Punkt ist die von Panum so genannte Empfindung nach der Richtung der Projectionslinien. Hierin liegt nämlich vielleicht eine Ahnung des Richtigen, aber eine Ahnung, die so unklar und so sehr mit widersprechenden Elementen vermengt ist, dass sie keinen Werth hat. — Einer eingehenderen Kritik der Panum'schen Ansicht kann ich mich hier füglich enthalten. Bezüglich der Ausdehnung der Theorie der Empfindungskreise auf das binokulare Sehen will ich, da diese Manchem auf den ersten Blick ein nicht unglücklicher Gedanke scheinen könnte, auf Volkmann's Bemerkungen hierüber verweisen, in denen das Uebereilte einer solchen Annahme genügend dargethan ist.*)

*) Graefe's Arch. f. Ophthalmologie. Bd. V. 2. S. 12.

Die Panum'sche Ansicht kann als ein letzter vereinzelter Ausläufer der anatomischen Hypothese der Sinneswahrnehmungen auf diesem Gebiete betrachtet werden. Im Gebiete der binokularen Tiefenwahrnehmung war dieselbe bei weitem am frühesten zum Wanken gebracht worden, hier ist daher längst diejenige Hypothese, die ich oben als die psychologische bezeichnet habe, zur herrschenden geworden. Aber, wenn man diese psychologische Hypothese in der Form, in welcher sie uns bei den verschiedenen Schriftstellern über die stereoskopischen Erscheinungen vorliegt, in's Auge fasst, so kann man nicht umhin zu bemerken, dass dieselbe noch weit davon entfernt ist, zu einer abgeschlossenen Theorie geführt zu haben, dass sie im Gegentheil noch nicht einmal eine vollständig ausgeführte Hypothese genannt werden kann. Damit dass man die Erklärung der stereoskopischen Erscheinungen auf das psychologische Gebiet hinüberschob, schien man sich jeder weiteren Ausführung derselben überhoben zu glauben. Es ist dies noch eine Nachwirkung der alten grundfalschen Meinung gewesen, dass es im Gebiet des psychischen Geschehens keine Gesetzmässigkeit gebe. Hiernach wird es genügend sein, wenn ich die bisherige psychologische Hypothese in derjenigen Form berücksichtige, in welcher sie einer vollständigen Ausführung am nächsten kommt, in der Darstellung nämlich, die neuerdings von Volkmann gegeben wurde.*)

Volkmann gesteht das Einfachsehen bei Erregung differenter Netzhautpunkte als eine unzweifelhafte Thatsache zu, welche aus rein sinnlichen Vorgängen ein für allemal nicht abzuleiten sei, sondern bei der eine Mitwirkung des Urtheils angenommen werden müsse. Diese Wirkung des Urtheils sucht er sich auf folgende Weise zu erklären. Er sagt: „ein Gegenstand, welchen wir einfach sehen, weil er im Kreuzungspunkt der Sehaxen liegt, zerfällt in ein Doppelbild, wenn wir die Sehweite verändern, und ein vorhandenes Doppelbild wird einfach, wenn wir den Gegenstand, den es repräsentirt, fixiren. Indem kein Tag vergeht, an welchem wir nicht unzählige Male die Sehweite veränderten, häufen sich die Erfahrungen über die Doppelbilder sehr bald in's Unermessliche. Wir lernen erkennen, dass die Doppelbilder, welche nur von einer ungünstigen Einstellung der Augen abhängen, und welche wir durch willkürliche Bewegung sofort beseitigen können, der

*) Die stereoskopischen Erscheinungen in ihrer Beziehung zu der Lehre von den identischen Netzhautpunkten. Graefe's Archiv f. Ophthalmologie Bd. V. Abth. 2.

Realität nicht entsprechen, und entziehen ihnen, als werthlosen Phänomenen, unsere Aufmerksamkeit.“ Es kommt also zunächst darauf an, „dass Erfahrungen, welche wir über die Identität eines Objectes besitzen, uns gegen die von den Augen prädicirten Differenzen gleichgiltig machen.“ Solche Erfahrungen machen wir nun theils mit dem Auge selber, indem eben bei der Bewegung der Augen das doppelt Gesehene in Einfaches und das Einfache in Doppeltes übergeht, theils erhalten wir sie auf anderem Wege, besonders durch den Tastsinn. „Ist aber erst die Erkenntniss entstanden, dass zwei differente Bilder die sinnlichen Symbole eines uns wohlbekannten einfachen Dinges sind, so reagirt auch die Seele gegen die trüglichen Symbole, und sucht den Widerspruch zwischen dem was scheint und dem was ist auszugleichen. Das Urtheil geht in die Empfindung über, und wir sehen das Ding schliesslich nicht wie die Netzhautbilder es darstellen, sondern wie die Erkenntniss es auffasst.“

So erklärt sich nach Volkmann das Entstehen der Tiefenvorstellung bei den stereoskopischen Versuchen und bei den körperlichen Wahrnehmungen, ohne dass deshalb die Lehre von der Identität der Netzhäute ihre Gültigkeit verlöre. Volkmann glaubt daher, durch seine Erklärung den Widerspruch zwischen den Beobachtungen Wheatstone's und der Identitätslehre gelöst zu haben. „Diese behauptet: die organischen Einrichtungen der Augen sind derartige, dass identische Netzhautpunkte einfache räumliche Anschauungen bedingen. Sie behauptet aber nicht, dass die im Bau des Auges gelegenen Bedingungen die einzigen seien, von welchen unsere Raumanschauungen abhängen, und lässt die Frage ganz offen, ob und wie weit die vom Bau des Auges abhängigen Vorgänge modificirt werden. Selbstverständlich kann das, was auf den Grund einer einzigen Bedingung geschieht, nicht fortdauern, wenn eine zweite Bedingung hinzutritt, welche in die Form des Geschehens mit eingreift. Für die Raumanschauungen sind aber zwei Bedingungen gegeben, von welchen das Auge die erste, das Seelenorgan die zweite ist. Das Auge allein bedingt die Vorgänge, welche die Lehre von den identischen Netzhautpunkten anschaulich macht, die Seele aber bedingt diejenigen Modificationen jener Vorgänge, welche in den Wheatstone'schen Versuchen zu Tage kommen.“

Wir sehen somit, dass Volkmann noch strenge festhält an der Ansicht der Identitätslehre, und seine psychologische Hypothese besteht nur darin, dass er klar zu machen sucht, wie wir trotz der vorhandenen Doppelbilder in den stereos-

kopischen Versuchen einfach zu sehen vermögen. Er schiebt dies dann darauf, dass das Urtheil allmälig corrigirend eingreift in den Ablauf der wirklichen Empfindungen und diese nach seinen Erfahrungen modificirt. Die Seele hat also nach Volkmann eine a priori'sche Kenntniss von der Lage der Gegenstände im Raum, die ihr unmittelbar durch das räumliche Lageverhältniss von deren Netzhautbildern gegeben ist, aber diese Kenntniss ist unter Umständen falsch, weil das Netzhautbild nur nach zwei Dimensionen sich ausdehnt und daher in der Seele auch keine a priori'sche Anschauung einer dritten Dimension vorhanden ist; wo diese daher in der Wirklichkeit auftritt und die unmittelbare Anschauung confundirt, dadurch dass sie Doppelbilder der Gegenstände hervorruft, da muss die Seele erst durch Erfahrung die Ursache ihrer Doppelbilder kennen lernen, um sie dann auch auf ihre Ursache zu beziehen, um ihre a priori flächenhafte Anschauung nach der Tiefe des Raumes zu vervollständigen.

Dies muss nothwendig die Grundanschauung sein, die der Volkmann'schen Hypothese zu Grunde liegt, wenn sie auch Volkmann selbst in dieser Weise nicht ausgesprochen hat, es muss bei derselben angenommen werden, dass wir von den räumlichen Verhältnissen unserer Netzhautbilder eine unmittelbare Kenntniss besitzen und je zwei Bildpunkte, die auf correspondirende Netzhautstellen fallen, auf einen äusseren Raumpunkt beziehen; denn sollte etwa schon bei der Entstehung des flächenhaften Sehfeldes eine Thätigkeit der Seele als mitwirkend gedacht werden, so würde es ja nicht mehr nothwendig sein zu erklären, wie trotz der Doppelbilder bei den körperlichen Wahrnehmungen einfach gesehen wird, sondern es würde von vornherein wahrscheinlich sein, dass diejenigen Seelenprocesse, durch welche die Bildung des Sehfeldes zu Stande kommt, auch alsbald dasjenige ausscheiden werden, was nicht in das flächenhafte Sehfeld gehört, sondern in einem bestimmten Verhältniss zu demselben in der dritten Dimension des Raumes liegt, es würde dann von identischen Netzhautstellen in der bisherigen Bedeutung des Wortes überhaupt nicht mehr die Rede sein können. Volkmann's Ansicht wurzelt also noch ganz in der anatomischen Hypothese der Raumanschauung, welche die räumliche Wahrnehmung unmittelbar mit der räumlichen Anordnung der Empfindungen, also in diesem Fall mit dem physischen Netzhautbilde gegeben glaubt, sie überschreitet diese Hypothese genau nur da, wo dieselbe der Erfahrung am schroffsten widerspricht, um eine Mitwirkung des Urtheils zu Hülfe zu nehmen.

Die bisher erörterten Untersuchungen über die stereoskopischen Erscheinungen gehen alle aus von den äusseren Objecten, sie untersuchen die Netzhautbilder, welche von diesen in beiden Augen entworfen werden, sie finden, dass hierbei von je einem Objectpunkt entweder auf correspondirenden oder auf nicht correspondirenden Stellen das Bild entworfen wird, und sie suchen schliesslich zu entscheiden, welcher Erfolg in beiden Fällen für die Wahrnehmung eintritt. Es wird vielleicht nützlich sein, wenn wir einmal den umgekehrten Weg einschlagen, wenn wir statt von den Objecten von den Netzhautbildern ausgehen, diese auf ihrem Weg nach aussen verfolgen, und uns die Frage vorlegen: was wird aus dem Netzhautbild, wenn wir es auf bestimmte Verhältnisse des äusseren Raumes bezogen denken?

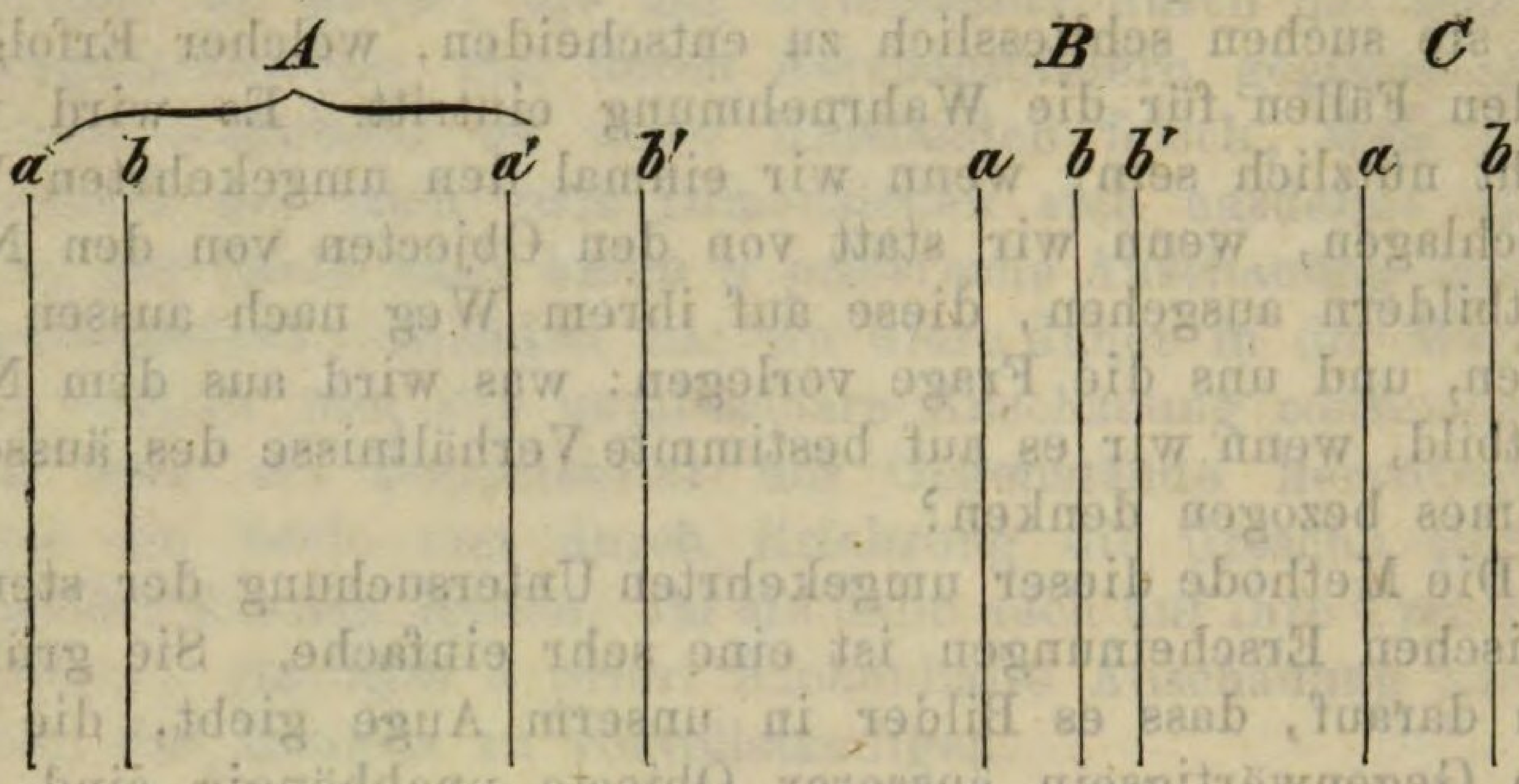
Die Methode dieser umgekehrten Untersuchung der stereoskopischen Erscheinungen ist eine sehr einfache. Sie gründet sich darauf, dass es Bilder in unserm Auge giebt, die von dem Gegenwärtigsein äusserer Objecte unabhängig sind, die Nachbilder. Indem wir ein Nachbild von willkürlich bestimmter Lage nach aussen projiciren auf Ebenen von beliebiger Richtung und Neigung, beantworten wir unmittelbar experimentell die Frage: wie verhält sich die Wahrnehmung, die durch ein gegebenes Netzhautbild vermittelt wird, wenn wir dasselbe in willkürlich zu verändernder Weise auf die Lageverhältnisse äusserer Objecte beziehen? und indem wir diese Untersuchung auf beide Netzhäute gleichzeitig anwenden, erfüllen wir unmittelbar die uns gesetzte Aufgabe: wir betrachten nicht objective stereoskopische Bilder, sondern wir projiciren subjective stereoskopische Bilder in den äusseren Raum.

Die Grundversuche dieser subjectiven Stereoskopie sind folgende:

Man befestige vier parallele verticale Streifen farbigen Papiers auf complementärem Grunde, z. B. gelbe Streifen auf violettem Grunde, in solcher gegenseitiger Entfernung, dass jedem Auge zwei Streifen geboten werden, und dass zugleich die Distanz zwischen den Streifen der beiden Augen eine verschiedene ist. Es seien also z. B. *a*, *b*, Fig. 13. *A*, die Streifen für das linke Auge, *a'*, *b'* die für das rechte Auge. Man halte nun zwischen die Augen eine Scheidewand, so dass jedes nur die für es bestimmten Streifen sehen kann, um die Bildung von Doppelbildern zu verhüten. Man fixire nun *a* und *a'* so lange, bis man Nachbilder von hinreichender Dauer erzielt hat. Dann schiebe man vor den farbigen Bogen

einen grauen Papierbogen und fixire auf diesem einen zuvor markirten Punkt. Man erhält dann, wenn die Distanz von *b* und *b'* hinreichend gross gewählt wurde, ein complementäres

Fig. 13.

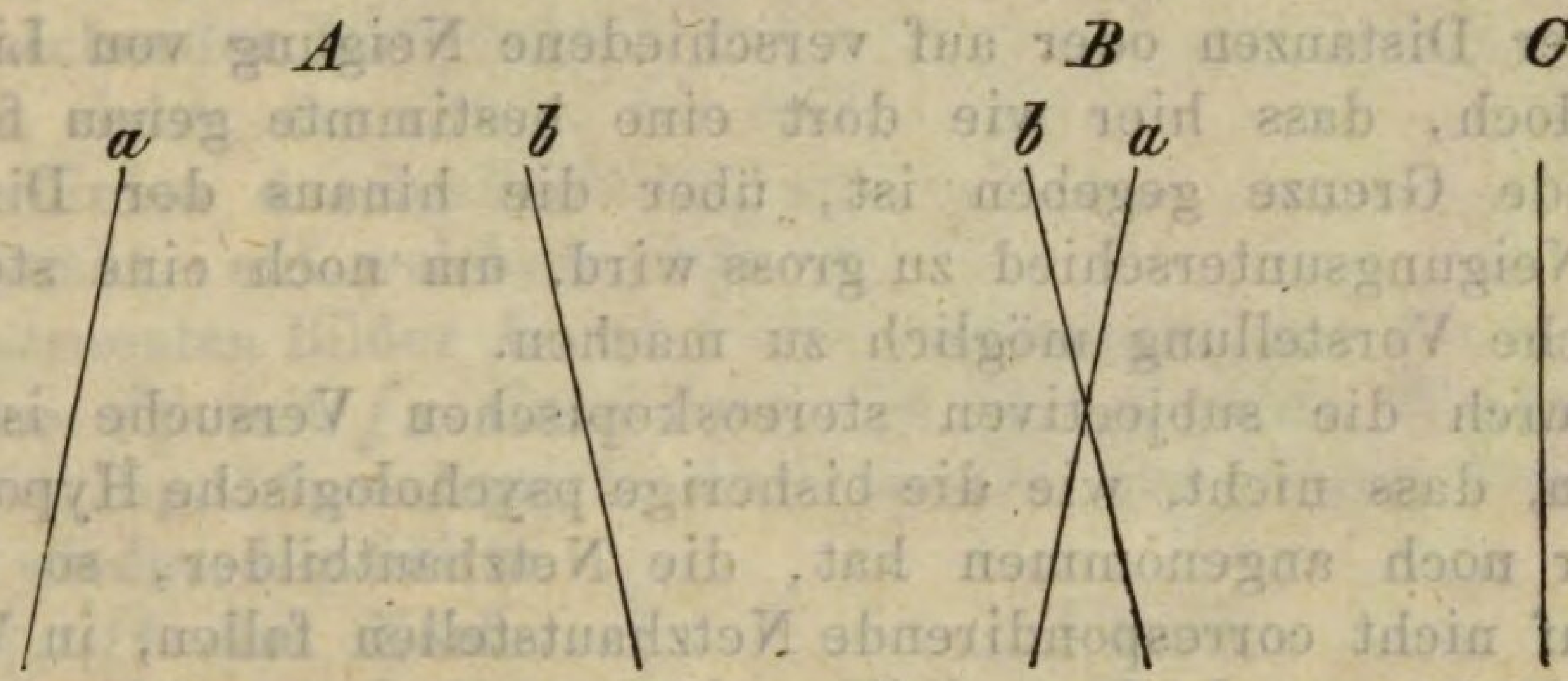


Nachbild *B*, das dem Sammelbild der in *A* beobachteten Streifen unmittelbar entspricht; die Nachbilder von *a* und *a'* fallen zusammen, *b* und *b'* liegen aber um die Distanz ihres Entfernungsunterschiedes von *a*, *a'* aus einander. Man drehe nun die Ebene *B* um eine Axe, die durch das gemeinsame Nachbild *a* geht, indem man den rechts von *a* gelegenen Theil der Ebene vom Auge wegdreht: jetzt sieht man die Nachbilder *b*, *b'* zusammenrücken und bei einer mittleren Entfernung sich vereinigen, so dass man nun ein Nachbild *C* hat, bei dem sowohl *a* und *a'* als *b* und *b'* zusammenfallen, und wo die horizontale Distanz *a b* die mittlere ist zwischen den Distanzen *a b* und *a' b'* in *A*, wo aber zugleich das Bild *b* nach der Tiefe des Raums hin verschoben ist, so dass die Ebene *C*, in der das ganze vereinigte Nachbild liegt, nicht mehr parallel der ursprünglichen Ebene *A* ist, sondern mit derselben einen Winkel bildet. — Ganz der ähnliche Erfolg tritt ein, wenn man anfänglich nicht *a* und *a'*, sondern *b* und *b'* vereinigt, man muss dann, um *a* und *a'* zur Vereinigung zu bringen, die Ebene um die Axe des gemeinsamen Nachbildes *b* so drehen, dass der links gelegene Theil der Ebene sich dem Auge nähert; in beiden Fällen erhält also die Ebene *C*, in der alle Nachbilder vereinigt sind, die gleiche Stellung. Würde man endlich nicht die Distanz *a' b'*, sondern die Distanz *a b* zur grösseren gemacht haben, so könnten ebenfalls die Nachbilder zur Vereinigung gebracht

werden, nur müsste jetzt die Ebene nach der entgegengesetzten Richtung wie vorher gedreht werden, d. h. es würde das vereinigte Bild *b* nicht hinter, sondern vor *a* gelegen sein.

Der zweite Grundversuch ist folgender. Man befestige zwei Streifen farbigen Papiers, welche zu einander geneigt sind, auf complementärem Grunde. Man gebe denselben ungefähr die Distanz der Augen, bringe zwischen beide Augen wieder eine Scheidewand zur Verhütung von Doppelbildern und fixire die Mitte eines jeden Streifens. Es sei z. B., Fig. 14. *A*, *a* der Streifen für das linke, *b* für das rechte

Fig. 14.



Auge, man erhält ein gemeinsames Bild *B*, in welchem die beiden Streifen in ihrer Mitte sich kreuzen. Nachdem man das Bild hinreichend lange fixirt hat zur Erhaltung von Nachbildern, schiebe man wieder einen grauen Papierbogen vor, auf dem man einen zuvor markirten Punkt fixirt: das gemeinsame Nachbild hat dann gleichfalls die Form *B*, und der Durchkreuzungspunkt der beiden Nachbilder ist der fixirte Punkt. Man denke sich jetzt durch den fixirten Punkt eine horizontale Axe gelegt, und drehe das Papier so um dieselbe, dass dessen oberes Ende sich vom Auge entfernt. Jetzt sieht man die Nachbilder *a* und *b* sich nähern und bei einer bestimmten Neigung der Ebene sich zu einem mittleren einfachen Nachbilde vereinigen. Dieses vereinigte Nachbild *C* ist, wenn, wie in unserer Figur, die beiden Nachbilder gleiche Neigung haben, vertical gestellt, aber es liegt von demselben nur noch der fixirte Punkt am früheren Orte, weil die Ebene, auf die es projicirt wird, gedreht worden ist. — Giebt man den Streifen und also auch den Nachbildern die umgekehrte Neigung, so kann gleichwohl die Vereinigung herbeigeführt werden, nur muss man dann die Ebene um ihre horizontale Axe nach der entgegengesetzten Richtung hin drehen. Macht man endlich die Neigung der beiden Nachbilder verschieden gross,

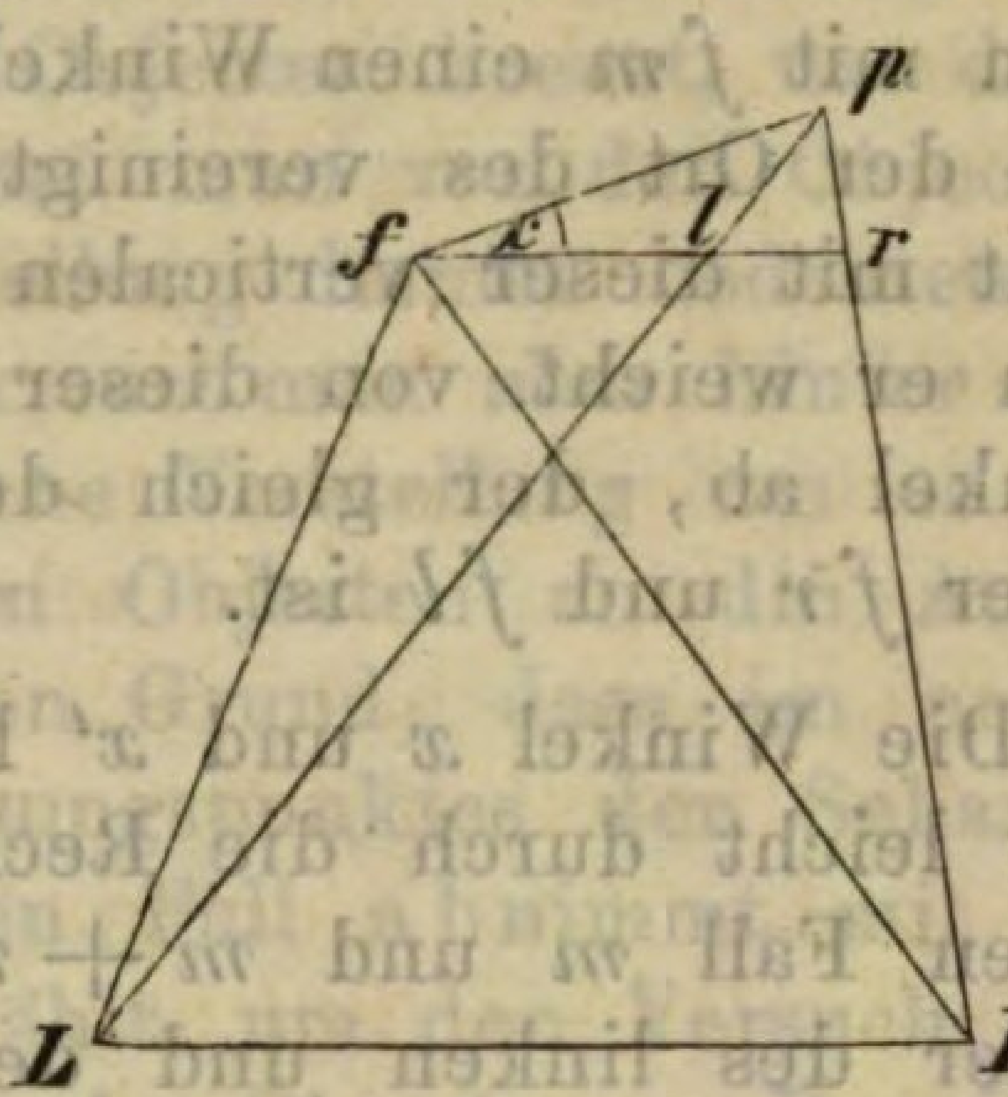
so kann wieder durch Drehung der Ebene die Vereinigung erzielt werden, aber das vereinigte Nachbild liegt jetzt nicht mehr in der Mittelebene, seine Projection auf die anfängliche Verticalebene ist nicht vertical, sondern weicht nach der Richtung des Nachbildes ab, das die stärkere Neigung hat. — Dieser Versuch mit den geneigten Nachbildern ist übrigens, wie man sieht, im Wesentlichen derselbe, den ich früher bei der Erörterung der Augenstellungen schon angegeben habe.

Die angeführten Grundversuche enthalten die Elemente aller stereoskopischen Versuche, die überhaupt sich denken lassen, in sich. Denn alle Fälle, die in diesen vorkommen können, lassen sich reduciren auf verschiedene Grösse horizontaler Distanzen oder auf verschiedene Neigung von Linien, so jedoch, dass hier wie dort eine bestimmte genau festzusetzende Grenze gegeben ist, über die hinaus der Distanz- oder Neigungsunterschied zu gross wird, um noch eine stereoskopische Vorstellung möglich zu machen.

Durch die subjectiven stereoskopischen Versuche ist bewiesen, dass nicht, wie die bisherige psychologische Hypothese immer noch angenommen hat, die Netzhautbilder, so lange sie auf nicht correspondirende Netzhautstellen fallen, in Wirklichkeit immer als Doppelbilder fortbestehen, von denen erst abstrahirt werden muss, um eine einfache Vorstellung zu erzielen, sondern dass, sobald die Netzhautbilder auf das richtige räumliche Lageverhältniss bezogen werden, diese Vereinigung mit eben der zwingenden Nothwendigkeit eintritt, mit der wir fortwährend den fixirten Punkt einfach zu sehen genöthigt sind. Es ist bei den beschriebenen Nachbilderversuchen auch mit der grössten Willensanstrengung nicht möglich, das durch Projection auf die geeignete Ebene vereinigte Bild disparater Netzhautstellen wieder zu trennen, während diese Trennung augenblicklich geschieht, sobald man die Lage der Ebene ändert, auf die man das Bild projicirt. Es erhellt hieraus leicht, dass keineswegs, wie wir nach der gewöhnlichen psychologischen Hypothese leicht zu denken geneigt sein möchten, bei der stereoskopischen Tiefenvorstellung eine gewisse Veränderlichkeit und Willkür herrscht, sondern dass wir die Netzhautbilder in genau bestimmter Weise objectiviren müssen, wenn die Eindrücke, die auf bestimmte disparate Netzhautstellen geschehen, in der Wahrnehmung zur Verschmelzung kommen sollen, so dass, wenn die Lage der Netzhautbilder und die Stellung des Auges bekannt sind, unsere Vorstellung von der räumlichen Ausdehnung des äusseren Objectes zu berechnen ist.

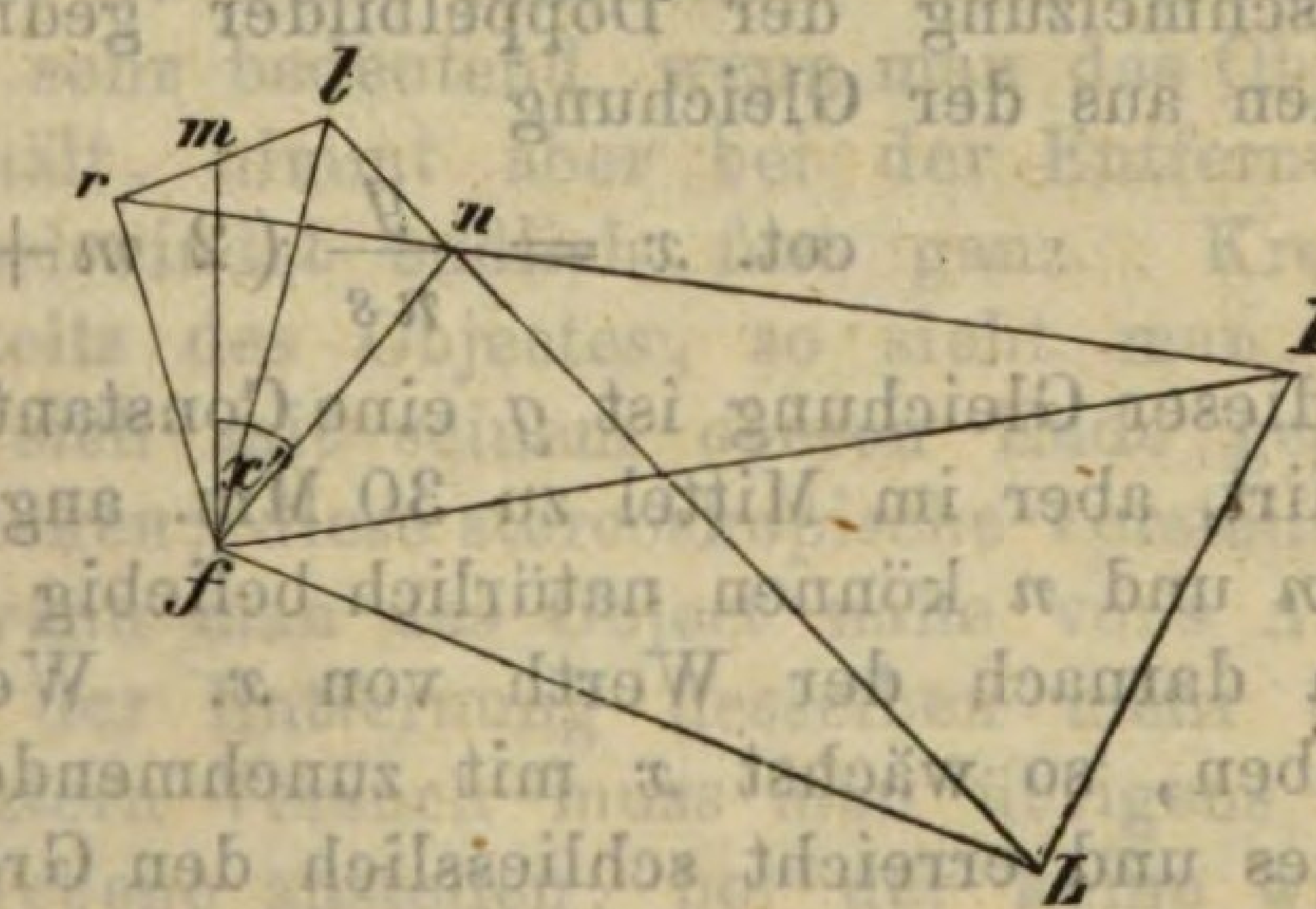
Zunächst lässt sich auf sehr einfache Weise durch Construction der Ort des gemeinsamen Bildes bestimmen. Fig. 15. entspricht dem ersten der obigen Versuche: f sei der fixirte Punkt, l und r seien die in der Visirebene gelegenen Punkte der Linien b und b', Fig. 13. B. Man erhält dann den Winkel x, um welchen das gemeinsame Sehfeld gedreht werden muss, um die Doppelbilder l und r zu vereinigen, wenn man von den Augen L und R aus durch den einem jeden entsprechenden Bildpunkt l und r Linien zieht; der Ort p, wo sich diese Linien durchschneiden, ist der Punkt, auf welchen projicirt die getrennten Bilder l und r sich vereinigen, und der Winkel, welchen fp mit fr einschliesst, ist der gesuchte Winkel x.

Fig. 15.



Die Fig. 16. entspricht dem zweiten der obigen Versuche. f sei wieder der fixirte Punkt, fl das Nachbild des linken, fr das Nachbild des rechten Auges, beide projicirt auf die zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrechte Ebene. Man ziehe nach zwei gleich weit von f entfernten Punkten dieser Nachbilder, l und r, von L und R aus die Linien $L\,l$ und $R\,r$. Der Ort n, wo sich beide durchschneiden, ist der Punkt, auf welchen projicirt die doppelt gesehenen Punkte l und r verschmelzen. Das Aehnliche gilt von allen übrigen Punkten der Nachbilder $f\,l$ und $f\,r$. Die Linie $f\,n$, welche alle Durchschnittspunkte der von L und R aus nach entsprechenden Punkten von $f\,l$ und $f\,r$ gezogenen Linien enthält, ist somit der Ort, auf welchen projicirt beide Nachbilder zur Vereinigung kommen. Ist $f\,m$ die im binokularen Sehfeld Verticale, so ist demnach der Winkel x', den fm mit fn einschliesst, für den Fall, dass die Nachbilder gleiche Neigung haben, unmittelbar der gesuchte Winkel, um welchen die binokulare Sehebene um eine horizontale Axe gedreht werden muss, damit die Nachbilder sich

Fig. 16.



vereinigen. Ist aber fr und fl verschieden geneigt, so denke man sich durch fn eine Ebene gelegt, die zur Medianebene (der durch den Halbirungspunkt von $L\ R$ und durch f gelegten Verticalebene) senkrecht steht. Die Linie, in welcher jene Ebene von der Medianebene durchschnitten wird, bildet dann mit fm einen Winkel, der dem Winkel x' entsprechend ist, der Ort des vereinigten Nachbildes fn fällt aber dann nicht mit dieser verticalen Durchschnittslinie zusammen, sondern er weicht von dieser in der genannten Ebene um einen Winkel ab, der gleich dem Neigungsunterschied der Nachbilder fr und fl ist.

Die Winkel x und x' lassen sich gemäss dieser Construction leicht durch die Rechnung bestimmen. — Es seien im ersten Fall m und $m+n$ die horizontalen Distanzen der Bilder des linken und des rechten Auges von dem gemeinsamen Bild, das fixirt wird, in dem binokularen Sehfeld, s sei die geradlinige Entfernung der Augen vom Sehfeld, g sei die Hälfte der Halbirungslinie der Augenmittelpunkte, so ist der Winkel x, um welchen das binokulare Sehfeld um eine verticale durch den Fixationspunkt gehende Axe zur Verschmelzung der Doppelbilder gedreht werden muss, zu finden aus der Gleichung

$$\text{cot. } x = \frac{g}{ns}\,(2\,m+n).$$

In dieser Gleichung ist g eine Constante, die individuell etwas variirt, aber im Mittel zu 30 Mm. angenommen werden kann. s, m und n können natürlich beliebig variiren, und verändert sich darnach der Werth von x. Wenn m und n constant bleiben, so wächst x mit zunehmender Entfernung des Sehfeldes und erreicht schliesslich den Grenzwerth von 90^0. Dies bedeutet, dass, Alles übrige gleichgesetzt, die stereoskopische Vorstellung zunimmt mit der Entfernung des fixirten Punktes. Da aber bei stereoskopischen Versuchen mit der Zumuthung, die der Vorstellungsthätigkeit gemacht wird, die Schwierigkeit der Vereinigung wächst, so wird ausserdem zu erwarten sein, dass auch diese Schwierigkeit mit der Entfernung zunimmt.

Man kann sich von dieser Folgerung leicht durch objective stereoskopische Versuche überzeugen. Auf diese ist die obige Formel ebenso unmittelbar anwendbar, wie auf die subjectiven Versuche; nur hat man hier natürlich unter s nicht die wirkliche Entfernung der stereoskopischen Objecte in Rechnung zu ziehen, sondern man hat sich das binokulare Sehfeld in

den Kreuzungspunkt der Sehaxen verlegt, und in demselben die stereoskopischen Objecte so über einander geschoben zu denken, wie es ihrer perspectivischen Projection auf dieses Sehfeld entspricht. Hierin liegt nun eine eigenthümliche Verschiedenheit begründet, je nachdem man die Sehaxen **vor** oder **hinter** den stereoskopischen Objecten kreuzt, um diese zur Vereinigung zu bringen. Kreuzt man vor den Objecten, so wird die stereoskopische Vorstellung immer bedeutender, je ferner man die Objecte bringt; kreuzt man aber hinter den Objecten, so wird die stereoskopische Vorstellung um so erheblicher, je näher man mit den Objecten an die Augen heranrückt. Beides hat darin seinen Grund, dass im ersten Fall s, die Entfernung des Kreuzungspunktes der Sehaxen, **zunimmt**, und dass es im zweiten Fall **abnimmt** mit der Entfernung der Objecte. — Man wählt, um den Versuch auszuführen, am besten möglichst einfache Objecte, z. B. einerseits eine verticale Linie, anderseits eine etwas geneigte Linie. Ist diese Linie mit ihrem oberen Ende nach innen geneigt, so sieht man bei der Vereinigung durch Kreuzung der Sehaxen jenseits des Objectes das gemeinschaftliche Bild sich mit seinem oberen Ende in die Tiefe erstrecken. Diese stereoskopische Vorstellung ist sehr bedeutend, wenn man das Object ganz nahe vor's Auge hält, nimmt aber bei der Entfernung desselben ab und verschwindet endlich fast ganz. Kreuzt man die Sehaxen diesseits des Objectes, so sieht man das gemeinschaftliche Bild sich mit seinem oberen Ende gegen den Beobachter zu erstrecken; diese stereoskopische Vorstellung ist aber sehr gering, wenn man das Object nahe vor's Auge hält, während sie mit der Entfernung desselben mehr und mehr wächst. Den letztern Versuch muss man übrigens bei einer Neigung der Visirebene anstellen, bei der keine wirkliche Drehung der Augen um die Sehaxe auch bei stärkeren Convergenzgraden vorhanden ist, damit diese sich nicht mit der Neigung des Objectes summirt, also etwa bei einer Stellung der Visirebene von 30—40^0 unter den Horizont. — In der erörterten Thatsache liegt es ohne Zweifel begründet, dass im Allgemeinen Diejenigen, die gewohnt sind stereoskopische Objecte durch Kreuzung der Sehaxen **vor** denselben zur Vereinigung zu bringen, angeben, dass bei ihnen die stereoskopische Vorstellung von geringer Grösse sei. In der gewöhnlich angewandten Sehweite für die stereoskopischen Versuche ist nämlich s sehr viel geringer für die Vereinigung diesseits als jenseits der Objecte. Diese Beobachter können ihre stereoskopische Vorstellung daher erhöhen, wenn sie mit den Objecten

hinreichend ferne rücken; niemals aber kann die stereoskopische Vorstellung diejenige Grösse erreichen, die bei der jenseitigen Vereinigung möglich ist. Rückt man immer ferner mit den Objecten, so nähert man sich einer Grenze, wo für diesseitige und jenseitige Vereinigung die stereoskopische Vorstellung gleich ist, ohne diese Grenze jemals ganz erreichen zu können. Rückt man umgekehrt näher, so wird, indem die stereoskopische Vorstellung für die jenseitige Vereinigung fortwährend zunimmt, für die diesseitige Vereinigung aber abnimmt, der Unterschied immer grösser, und erreicht bei der möglichsten Annäherung an's Auge sein Maximum.

Wir sehen ferner aus der obigen Formel, dass der Winkel x um so mehr zunimmt, je mehr n, d. h. der Distanzunterschied der stereoskopischen Bilder, wächst, so dass er, wenn n eine gewisse Grösse erreicht, sich wieder seinem Maximum von 90^0 nähert, während er umgekehrt abnimmt, je kleiner n wird, und wenn dieses zu Null geworden ist ebenfalls Null wird.

Im zweiten Fall, wenn es sich um Bestimmung des Winkels x' handelt, der die Neigung des Sehfeldes für die Vereinigung stereoskopischer Bilder, die einen verschiedenen Winkel mit dem Horizont einschliessen, angiebt, sei wieder s die geradlinige Entfernung des Beobachters vom fixirten Punkt und g die Hälfte der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte, m sei der Winkel des einen Bildes mit der Horizontalen, n der Winkel des anderen Bildes. Man findet x' aus der Gleichung

$$\text{tgt. } x' = \frac{s\,(\text{tgt. } m + \text{tgt. } n)}{2\,g.\ \text{tgt. } m.\ \text{tgt. } n - (\text{tgt. } m + \text{tgt. } n)}.$$

Diese Gleichung vereinfacht sich bedeutend, wenn $m = n$ wird, d. h. wenn die Neigung der beiden Bilder von gleicher Grösse ist; dann ist

$$\text{tgt. } x' = \frac{s}{g.\ \text{tgt. } m.}$$

Man sieht, dass wieder x' zunimmt mit der Entfernung s. Wir haben dies schon bei dem oben angeführten Versuch vorausgesetzt, der eigentlich unter diesen zweiten Fall gehört. Dagegen nimmt x' ab mit der Grösse der Winkel m oder n, und es wird gleich Null, wenn diese Winkel 90^0 betragen, d. h. wenn die stereoskopischen Objecte parallel und vertical stehen, aber je mehr sie vom Verticalismus abweichen, um so grösser wird x'. Dabei bleibt das gemeinsame Bild in der Medianebene, wenn m und n gleich sind, und es weicht um

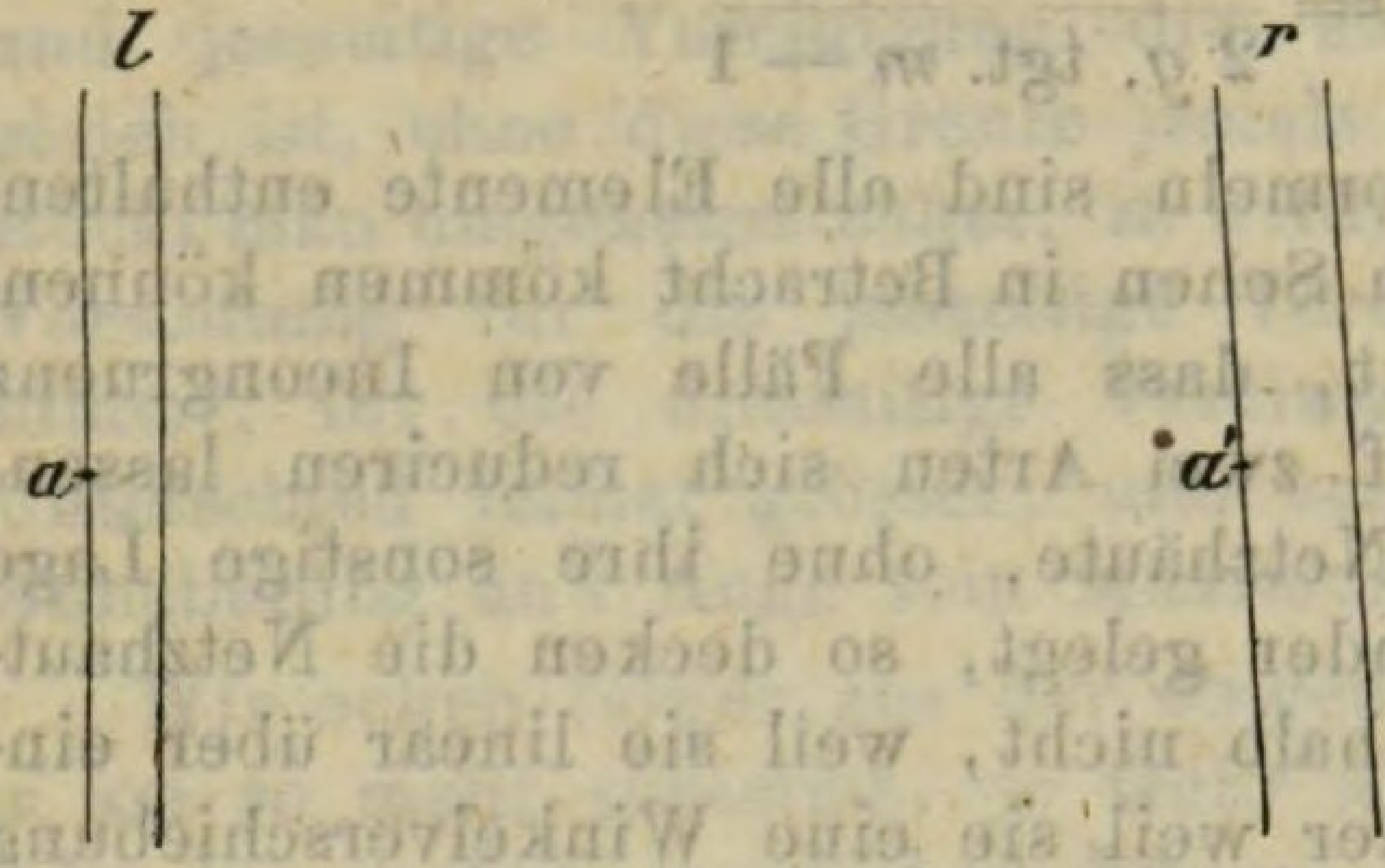
den Winkel $m-n$ zur Seite ab, wenn n kleiner als m ist. — Als specieller Fall ist hier noch der zu erwähnen, wo einer der Winkel, z. B. n, $= 90^0$ wird, man erhält hier

$$\text{tgt.}x' = \frac{s}{2\,g.\,\text{tgt.}\,m - 1}$$

In den gegebenen Formeln sind alle Elemente enthalten, die beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen können. Ich habe früher bemerkt, dass alle Fälle von Incongruenz beider Netzhautbilder auf zwei Arten sich reduciren lassen. Denken wir uns beide Netzhäute, ohne ihre sonstige Lage zu verändern, über einander gelegt, so decken die Netzhautbilder sich entweder desshalb nicht, weil sie linear über einander geschoben sind, oder weil sie eine Winkelverschiebung zu einander erfahren haben. Beide Arten von Incongruenz liegen auch den stereoskopischen Erscheinungen zu Grunde. Bei allen Bildern von körperlich ausgedehnten Gegenständen ist entweder eine lineare Querverschiebung der den gleichen Objectpunkten entsprechenden Bildpunkte oder eine Winkelverschiebung derselben vorhanden, und nur der Theil des beobachteten Gegenstandes, der fixirt wird, deckt sich in seinen Netzhautbildern. Bei den stereoskopischen Versuchen ist das Nämliche künstlich dadurch erreicht, dass die Ansichten, die jedes Auge von einem Gegenstand erhält, auf eine Fläche projicirt sind. In vielen Fällen, insbesondere bei körperlichen Gegenständen und stereoskopischen Objecten von verwickelterer Form, sind beide Arten von Verschiebung der Netzhautbilder vorhanden. Die Analyse dieser Fälle hat aber keine Schwierigkeiten, wenn man sich die Aufgabe zerlegt und zuerst die Grösse der Tiefenausdehnung bestimmt, die aus der linearen Querverschiebung der Netzhautbilder hervorgeht, und die durch Drehung des binokularen Sehfeldes um seine verticale Axe erzeugt gedacht werden kann, der Winkel x dieser Drehung giebt unmittelbar diese Tiefenausdehnung ihrer Grösse nach. Ist dies geschehen, so bleibt noch diejenige Tiefenausdehnung zu bestimmen, die aus der Winkelverschiebung der Netzhautbilder hervorgeht, und die durch Drehung des binokularen Sehfeldes um seine horizontale Axe erzeugt gedacht werden kann, diese Drehung wird unmittelbar durch den Winkel x' gemessen. Durch die Winkel x und x' ist die Lage, die der binokular gesehene Gegenstand entweder in Wirklichkeit oder blos in unserer Vorstellung (bei den stereoskopischen Versuchen) im Raum einnimmt, völlig bestimmt. Nehmen wir z. B. an, die Netzhautbilder beider Augen seien von der Form Fig. 17., a, a'

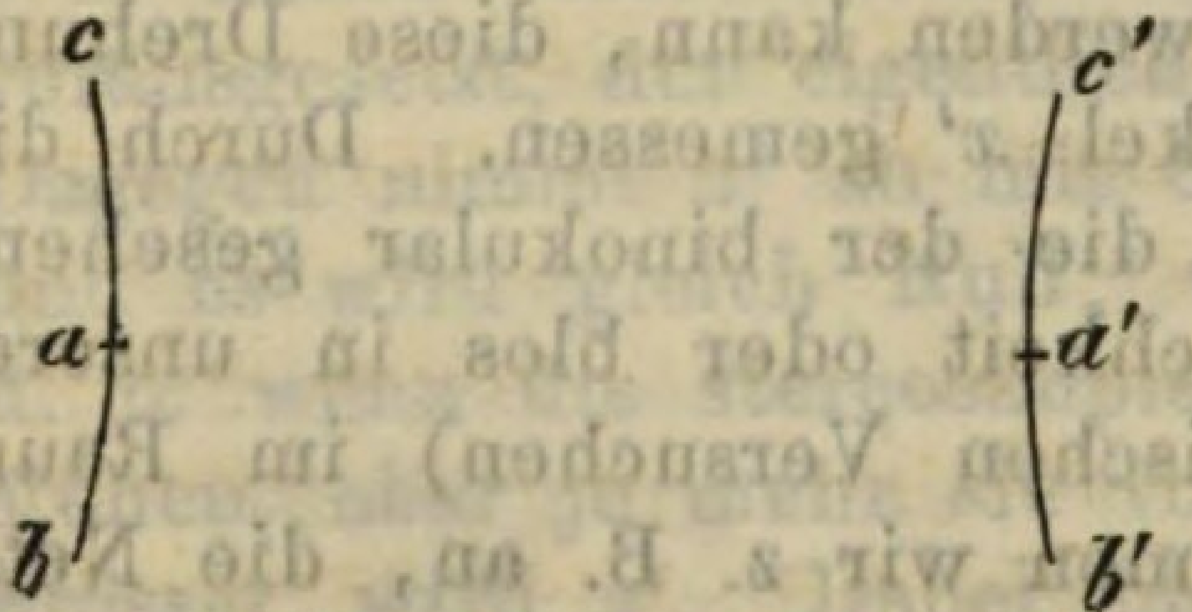
entspreche dem fixirten Punkt, so decken sich die Bilder l und r mit den Punkten a und a', in Bezug auf alle übrigen Punkte aber zeigen sie sowohl quere Verschiebung als Winkelverschiebung. Der queren Verschiebung entspricht der Winkel x, der Winkelverschiebung d. Winkel x', beide Winkel können, wenn die Distanz des fixirten Punktes, der quere Abstand und die Neigung der Netzhautbilder gegeben sind, mittelst der obigen Formeln berechnet werden, es können in denselben für die Distanzen oder Neigungen m und n unmittelbar die Distanzen oder Neigungen der Netzhautbilder gesetzt werden. Auf diese Weise lassen sich alle stereoskopischen Objecte, sobald dieselben aus geraden Linien zusammengesetzt sind, mathematisch untersuchen, es lässt sich bei gegebenem Netzhautbild genau bestimmen, ob demselben eine körperliche Vorstellung überhaupt entsprechen kann und, wenn dies der Fall ist, von welcher Beschaffenheit dieselbe sein muss.

Fig. 17.



Etwas verwickelter wird die Aufgabe, wenn es sich darum handelt, diese Untersuchung für Netzhautbilder auszuführen, die aus gekrümmten Linien zusammengesetzt sind. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass dieser Fall verhältnissmässig selten vorkommt: bei weitem die meisten stereoskopischen Contouren sind aus geraden Linien zusammengesetzt oder nähern sich doch solchen sehr annähernd. Gekrümmte Linien von entgegengesetzter Krümmung können wir überhaupt nur vereinigen, wenn die Krümmung sehr unbedeutend ist. So ist z. B. in Fig. 18. eine Vereinigung mit stereoskopischer Vorstellung noch möglich, dies hört aber auf, sobald man den beiden Kreisbögen eine einigermassen stärkere Krümmung giebt. Aus diesem Grunde lassen sich in diesen Fällen häufig ohne erheblichen Fehler die stereoskopischen Contouren als zusammengesetzt aus wenigen geraden Linien betrachten. Wo aber auch dies nicht geht, kann min-

Fig. 18.



destens die Krümmung der stereoskopischen Contouren immer als kreisförmig betrachtet werden, und für diesen Fall hat die Bestimmung der Fläche, in welcher das stereoskopische Bild oder der körperlich ausgedehnte Gegenstand liegt, keine Schwierigkeit, sie ist nämlich dann eine Cylinderfläche, deren Radius leicht zu ermitteln ist. Entspricht z. B. in Fig. 18. a und a' dem fixirten Punkt, so betrachte man zuerst $a\ b$ und $a'\ b'$, ebenso $a\ c$ und $a'\ c'$ als gerade Linien von entgegengesetzter Richtung, welche die Winkel m und n mit der Horizontalen einschliessen, und ermittele den Winkel x' so, wie es für das gemeinsame Bild dieser Linien geschehen müsste. Es giebt dann der Winkel x' die Neigung einer Ebene, welche die Cylinderfläche, in der das gemeinsame Bild wirklich liegt, schneidet. Die Radien zweier Kreisbögen verhalten sich nun wie die Tangenten der Neigungswinkel je zweier entsprechender Kreissecanten. Ist daher r der Radius irgend eines der beiden zu vereinigenden Kreisbögen und r' der Radius der gesuchten Cylinderfläche, so ist, wenn $m = n$ angenommen wird,

$$\frac{r}{r'} = \frac{\text{tgt. } m}{\text{cot. } x'}.$$

Da x' schnell wächst mit kleiner werdenden m und n, so folgt hieraus, dass x' immer bedeutend kleiner ist als r, d. h. dass die Krümmung des vereinigten Bogens viel erheblicher ist als die Krümmung der zusammensetzenden Bögen. Man überzeugt sich hiervon leicht in stereoskopischen Versuchen, wo dieser Unterschied in hohem Grade auffällt. Ist $m = n$, so giebt x' unmittelbar die Krümmung des vereinigten Bogens, ist aber m verschieden von n, so ist dies streng genommen nicht mehr der Fall. Da aber, wie bemerkt, m und n bei der Vereinigung von Kreisbögen nur sehr wenig von 90^0 abweichen dürfen, so dass m—n immer sehr klein bleibt, so kann dieser Fehler meistens vernachlässigt werden.

Aus der durch die subjectiven stereoskopischen Versuche nachgewiesenen Thatsache, dass, sobald die Netzhautbilder auf diejenige Tiefenausdehnung des Objectes bezogen werden, die dem Lageverhältniss der Netzhautbilder entspricht, das Einfachsehen mit Nothwendigkeit eintritt, erklären sich mehrere Erscheinungen, die bisher keine oder nur eine ungenügende Erklärung gefunden haben.

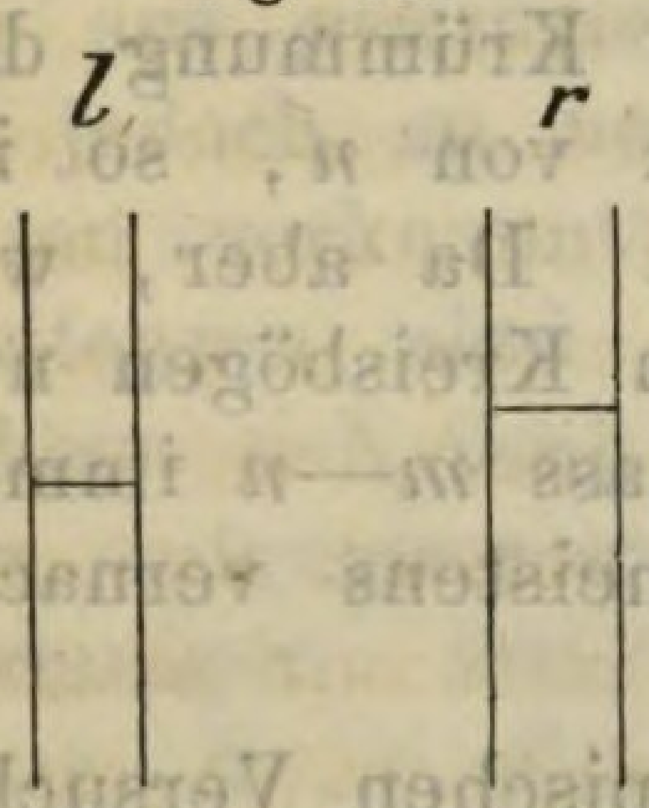
Zunächst ist klar, dass, wenn wir in stereoskopischen Versuchen beiden Augen Bilder darbieten, die den verschiedenen Projectionen eines reellen Objectes nicht ganz entsprechen, die stereoskopische Vorstellung nicht so leicht ent-

stehen und daher auch eine Vereinigung weniger leicht eintreten wird. Man könnte in diesen Fällen sogar erwarten, dass die stereoskopische Vereinigung ganz unmöglich sei, aber erfahrungsgemäss abstrahiren wir gern von Ungenauigkeiten der stereoskopischen Bilder, wenn sie nicht zu bedeutend sind, abgesehen davon, dass wir — obzwar in geringerer Ausdehnung — auch Bilder disparater Netzhautstellen zu vereinigen vermögen, die gar keine stereoskopische Vorstellung zulassen, wovon wir im folgenden Abschnitt noch zu handeln haben. Ferner kommen in den stereoskopischen Versuchen Fälle vor, wo wir einen Theil des einen Netzhautbildes mit einem Theil des andern Netzhautbildes zu einem stereoskopischen Gesammtbild zu vereinigen vermögen, wo aber dies in Bezug auf andere Theile beider Netzhautbilder unmöglich ist. In diesen Fällen stören nicht selten die nicht zu vereinigenden Bilder die stereoskopische Täuschung, und es werden nun auch jene Theile der Objecte ohne Tiefenausdehnung und daher doppelt gesehen, die für sich der stereoskopischen Vereinigung fähig sind.

Volkmann hat in seiner Abhandlung mehrere in beide Kategorieen einschlagende Beispiele angegeben, von denen ich einige der augenfälligsten hier heraushebe.

1) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei senkrechte Parallellinien von etwas ungleicher Distanz, Fig. 19.; die stereoskopische Vereinigung gelingt vollständig, und im gemeinsamen Bild ist die rechts gelegene Linie jenseits der Ebene des Papieres gelegen. Man ziehe nun in jedem Bild eine horizontale Verbindungslinie, so aber, dass dieselbe in r etwas höher liegt als in l: jetzt wird die Vereinigung weit schwieriger, obgleich sie auch hier bisweilen gelingt, wenn der Distanzunterschied der Bilder nicht zu gross ist.

Fig. 19.



2) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei Punkte, die in derselben Horizontallinie gelegen sind und eine etwas ungleiche Distanz haben; die stereoskopische Vereinigung ist leicht, der eine der vereinigten Punkte liegt über oder hinter der Ebene des Papiers. Man füge nun in jedem Gesichtsfeld noch eine ganze Reihe ähnlicher Punkte hinzu, die aber eine gleiche Distanz halten. Die Vereinigung der vorher stereoskopisch gesehenen Punkte ist jetzt viel schwieriger, obgleich sie auch hier wieder, und im Allgemeinen noch leichter als im vorigen Versuch, bisweilen gelingt.

3) Man zeichne jederseits zwei Reihen von Punkten, die auf concentrischen Kreisperipherieen von je gleichem Radius gelegen sind, die aber auf der einen Seite etwas weiter aus einander liegen als auf der anderen. In diesem Fall sind also die zu vereinigenden Punkte sowohl quer als winklig gegen einander verschoben, und die entstehende Tiefenvorstellung ist ein Resultat aus beiden Verschiebungen. Auch hier tritt die stereoskopische Vereinigung ein; zieht man aber nun die Kreislinien, auf welchen die Punkte gelegen sind, aus, so hört die Vereinigung auf oder ist doch in vielem Grad schwieriger.*)

Volkmann hat diese Fälle gemäss seiner Hypothese so erklärt, dass er sagt: „Netzhautpunkte, welche wegen der geringen Differenz ihrer Lagerung sich in der Regel wie identische Punkte verhalten, d. h. im Zustande der Erregung räumlich einfache Erscheinungen bedingen, vermitteln ausnahmsweise Doppelbilder, wenn die Aufmerksamkeit der Seele auf den sinnlichen Vorgang in ungewöhnlicher Weise gesteigert wird.“ Die oben erwähnten Versuche sind nun immer so eingerichtet, dass bei ihnen auch identische Netzhautpunkte erregt werden: dadurch wird, nach Volkmann, die Aufmerksamkeit der Seele auf die Doppelbilder gerichtet, und diese müssen, wenn sie verschmolzen waren, aus einander treten.

Diese Erklärung ist offenbar nach den subjectiven stereoskopischen Versuchen, die eine zwingende Verschmelzung der Doppelbilder darthun, sobald nur die Tiefenvorstellung eintritt, nicht mehr haltbar. Aber die Versuchsbedingungen sind in diesen Fällen immer solche, dass die jedem Auge dargebotenen Bilder keinem wirklichen Gegenstand mehr entsprechen können, oder dass dies nur in Bezug auf einzelne Theile beider Bilder der Fall ist. Wir können im dritten Versuch die zwei Bilder gleicher concentrischer Kreise nicht zu einer stereoskopischen Vorstellung vereinigen, und vermögen dies daher auch nicht mit irgend welchen Punkten, die auf diesen Kreisen gelegen sind; im ersten Versuch geben die Verticallinien mit einander eine stereoskopische Vorstellung, nicht aber die über einander gelegenen Horizontalen; endlich im zweiten Versuch

*) Weitere Beispiele ähnlicher Art s. bei Volkmann S. 20 u. f. Volkmann bezeichnet durchweg bei diesen Versuchen die Vereinigung als niemals eintretend. Ich selbst kann dies bei seinen Zeichnungen meistens nicht finden, sondern gewöhnlich wird die stereoskopische Vereinigung nur schwieriger, tritt aber immer noch zuweilen ein. Auch Andere, die ich hierüber befragt, haben das Gleiche beobachtet.

können die Punkte, die jederseits von gleicher Distanz sind, nur auf die Fläche des Papiers bezogen werden, wir thun das daher, da wir geneigt sind die Figur als ein Ganzes aufzufassen, auch in Bezug auf die zwei Punkte, die jederseits von ungleicher Distanz sind, und in Folge dessen fallen diese Punkte aus einander. Aber gerade im letzten Fall, wo es sich nur um Punkte nicht um Linien handelt, ist es am leichtesten möglich den Theil des Bildes, der eine stereoskopische Vereinigung zulässt, gewissermassen vom andern Bild zu isoliren, ich sehe daher diese Figur fast häufiger so, dass ich den einen Punkt, der in beiden Netzhäuten auf nicht correspondirende Stellen fällt, in die Tiefe projicire, während die andern in der Ebene des Papiers zu liegen scheinen, als dass ich alle Punkte in diese Ebene verlege und dann von dem betreffenden Punkt die Doppelbilder sehe. Wir können somit die Erklärung aller dieser und ähnlicher Erscheinungen dahin zusammenfassen, dass überall, wo durch die Versuchsbedingungen die stereoskopische Vorstellung gehindert ist, auch die stereoskopische Vereinigung schwerer erfolgt, und diese Consequenz versteht sich ganz von selber, nachdem wir nachgewiesen haben, dass die stereoskopische Vereinigung lediglich bestimmt ist durch die Gesetze der perspectivischen Projection der Gesichtseindrücke in den äusseren Raum.

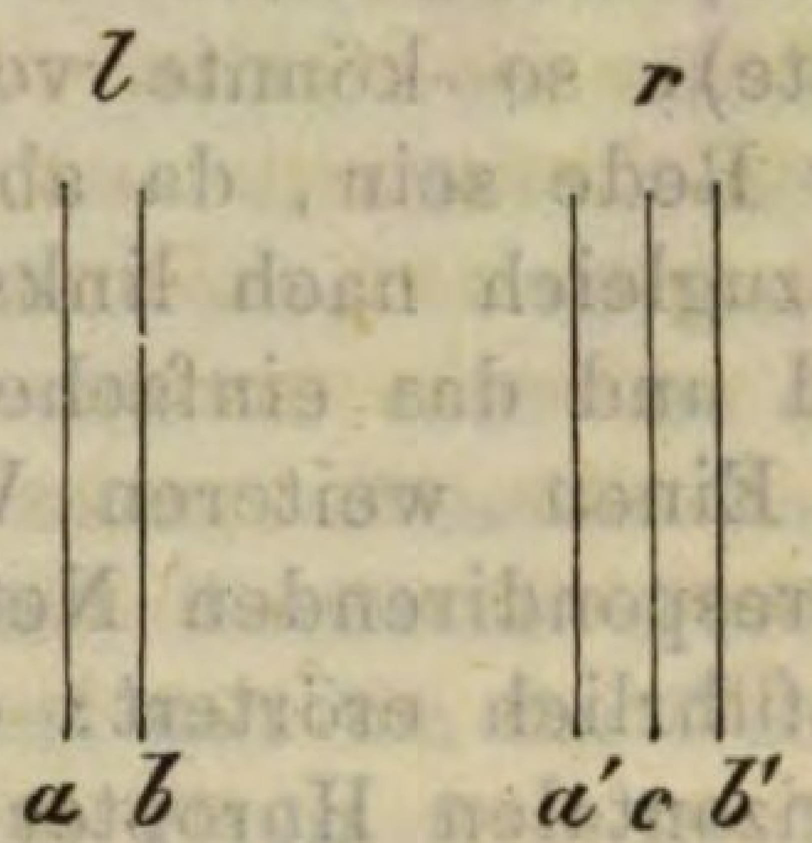
Die gefundene Gesetzmässigkeit für die stereoskopischen Erscheinungen fordert die Folgerung einer Thatsache, die von den meisten Beobachtern bisher geleugnet worden ist. Geschieht nämlich die Vereinigung stereoskopischer Contouren nicht durch eine Vernachlässigung der reell bestehenden Doppelbilder, sondern gemäss den Gesetzen der perspectivischen Projection mit zwingender Nothwendigkeit, so ist weiter zu schliessen, dass, ebensowohl wie die Bilder nicht correspondirender Netzhautstellen zu einer einheitlichen Wahrnehmung ganz bestimmter Art vereinigt werden, auch die Bilder correspondirender Netzhautstellen unter Umständen zu Doppelbildern aus einander treten werden. Es ist mit aller Sicherheit anzugeben, wann dieses Ereigniss eintreten wird: es wird immer erfolgen, sobald die Netzhautbilder so auf äussere Objecte bezogen werden, dass im Allgemeinen nicht mehr correspondirende Netzhautstellen einem und demselben Punkte des äusseren Objects entsprechend sind.

Man kann demgemäss in den objectiven stereoskopischen Versuchen leicht die hierzu günstigen Bedingungen herstellen, wenn man zwei richtige stereoskopische Zeichnungen entwirft, und dann in der einen Zeichnung noch eine überzählige Con-

tour anbringt, welche mit einer stereoskopischen Contour der anderen Zeichnung auf correspondirende Netzhautstellen fallen muss. Eine solche überzählige Contour stört allerdings oft die stereoskopische Vorstellung (es tritt dieser Fall unter die oben in dieser Hinsicht erörterten Erscheinungen), aber, wenn man die Zeichnungen geeignet ausführt, so lässt es sich leicht erreichen, dass immer noch eine vorwiegende Tendenz zur stereoskopischen Vorstellung vorhanden bleibt. Tritt nun die letztere wirklich ein, so wird unter allen Umständen die auf correspondirende Netzhautstellen fallende Contour doppelt gesehen. — Ich will die zwei Grundversuche anführen, die den Hauptfällen, welche beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen, entsprechen.

1) Man bringe in jedes Gesichtsfeld zwei verticale Parallellinien von etwas ungleicher Distanz, *a*, *b* und *a'* *b'*, Fig. 20. Zwischen die Linien *a'* *b'* in *r*, welche die weitere Entfernung haben, ziehe man dann eine dritte Linie *c*, die von *a'* ebenso weit entfernt ist als *b* von *a*. Diese Linie *c* ziehe man aber schwächer als die andern, dadurch erhöht man die Neigung zur stereoskopischen Vereinigung der stärker gezogenen Linien. Fixirt man nun einen *a*, *a'* entsprechenden Punkt, so scheint die vereinigte Linie *b*, *b'* hinter der Ebene des Papieres zu liegen, *c* aber erscheint getrennt von *b*, *b'* und behält denselben Ort, den es im getrennten Bild zu *a*, *a'* einnimmt. Da nun offenbar bei der Vereinigung beider Zeichnungen *c* mit *b* auf correspondirende Netzhautmeridiane fällt, so haben wir hier einen Fall, wo mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. Sobald übrigens die stereoskopische Täuschung aufhört, und alle Linien in die Ebene der Zeichnung treten, so fällt auch *b* mit *c* zusammen, und *b'* wird getrennt gesehen.

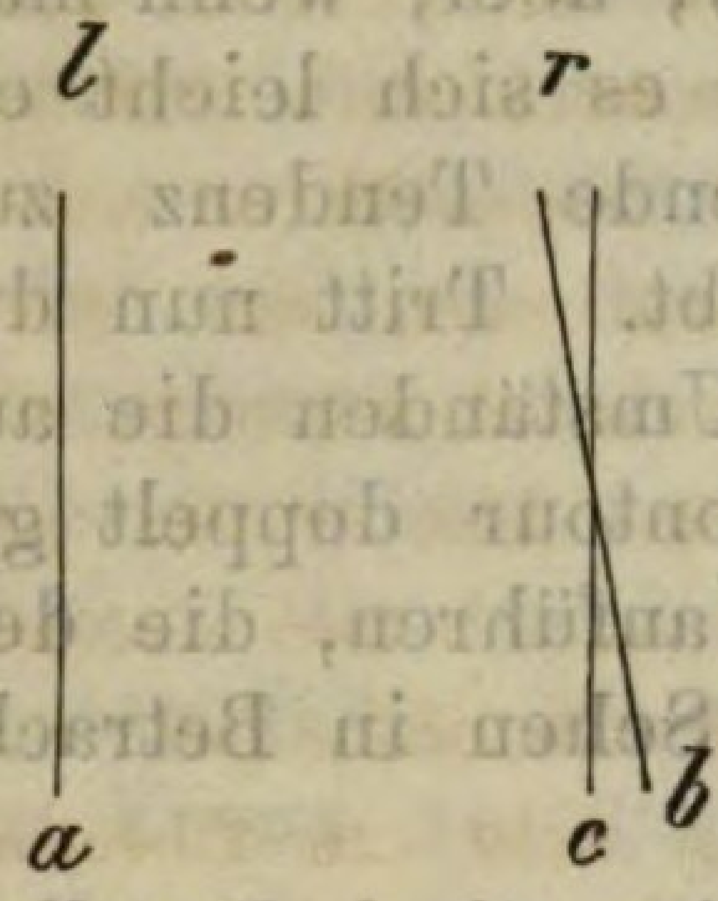
Fig. 20.



2) Man biete dem linken Auge eine verticale Linie *a*, Fig. 21. dem rechten eine etwas geneigte *b*, beide stark ausgezogen; zugleich sei aber im rechten Gesichtsfeld eine schwache Linie *c*. Man ist dann wieder geneigt, die stärker gezogenen Linien stereoskopisch zu vereinigen. Das vereinigte Bild erstreckt sich mit seinem obern Ende (bei Fixation eines jenseits gelegenen Punktes) über die Ebene des Papiers hinaus und weicht zugleich etwas nach links ab; die Linie *c* aber erscheint davon getrennt in der Ebene des Papiers und ver-

tical. Nun ist aber klar, dass, wenn nicht eine compensirende Augendrehung stattgefunden hat — und dass es solche nicht giebt haben wir im 2. Abschnitt bewiesen — das Bild der Linie *c* mit dem Bild der Linie *a* des rechten Auges auf correspondirende Netzhautstellen, die Bilder der beiden starken Linien *a* und *b* aber auf disparate Netzhautstellen fallen. Wenn nun die beiden letzteren vereinigt werden, so können nicht die zwei ersteren vereinigt werden; es leidet also keinen Zweifel, dass in diesem Fall mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt gesehen wird. Würde bei diesem Versuch das stereoskopische Bild etwa so erscheinen, dass es sich in gerader Richtung nach der Tiefe hin erstreckte (wie dies der Fall wäre, wenn man *a* und *b* von gleicher Neigung gemacht hätte), so könnte von einer Deckung mit der Linie *c* noch die Rede sein, da aber der Versuch so eingerichtet ist, dass es zugleich nach links abweicht, so erscheinen das Sammelbild und das einfache vollkommen deutlich getrennt.*)

Fig. 21.



Einen weiteren Versuch, welcher das Doppelsehen mit correspondirenden Netzhautstellen zeigt, habe ich schon oben ausführlich erörtert: es ist der Baum'sche Versuch über den horizontalen Horopter, in welchem, wie wir gesehen haben, die Bedingungen des Doppelsehens etwas verschieden sind. Die hier angeführten zwei Versuche sind aber die vollkommen beweisenden Grundversuche: sie enthalten die zwei Hauptfälle, die beim stereoskopischen Sehen in Betracht kommen, die Querverschiebung und die Winkelverschiebung der Netzhautbilder, und sie zeigen, dass, wo stereoskopisches Sehen durch eine von beiden Incongruenzen der Netzhautbilder zu Stande kommt, solche Bildpunkte, die sich binokular decken, und die beim Wegfallen des stereoskopischen Sehens einfach erscheinen, doppelt gesehen werden.

Die entsprechenden Versuche lassen auch im Gebiet der subjectiven Stereoskopie sich ausführen, wo sie zu höchst frappanten Erscheinungen Veranlassung geben.

Man befestige einen verticalen farbigen Streifen auf complementärem Grunde und betrachte denselben mit beiden Augen aus einer Entfernung, welche hinreichend gross ist, dass die

*) Der zuletzt angeführte Versuch ist derselbe, den ich oben als von Wheatstone zuerst angestellt bereits erwähnt habe.

Drehung um die Sehaxe nicht in Betracht kommt. Schiebt man dann ein graues Papier so vor, dass es die Ebene, in welcher der Streifen gelegen ist, parallel deckt, so sieht man, wie zu erwarten steht, auf dem grauen Papier das einfache complementäre Nachbild des Farbenstreifens. Schiebt man aber das graue Papier so vor, dass es zu jener Ebene geneigt ist, so sieht man häufig statt des einfachen Nachbildes zwei, die sich im fixirten Punkt kreuzen. Schliesst man das eine oder andere Auge, so erkennt man deutlich die Drehung, die das Nachbild des einzelnen Auges durch die Projection auf die geneigte Ebene erfahren hat. Es gelingt jedoch bei diesem Versuch das Doppelsehen des gemeinsamen Nachbildes mit beiden Augen keineswegs immer, es tritt bei mir am ehesten ein, wenn ich rasch das Papier vorschiebe und scharf fixire: dann sehe ich in den ersten Momenten deutlich das Nachbild als gekreuztes Doppelbild. Es ist aber immer eine Neigung vorhanden dasselbe zu einem Bild zu vereinigen, und ist diese Vereinigung einmal geschehen, so gelingt es niemals durch längeres Fixiren dasselbe wieder zu trennen. Aber wenn das Nachbild nicht getrennt gesehen wird, so erscheint dasselbe deutlich stereoskopisch, d. h. es scheint nicht in der Ebene des Papiers zu liegen, sondern es nimmt dieselbe Lage ein, die das betrachtete Object hatte, das Nachbild scheint körperlich in der Luft zu stehen. Einigemal sah ich das Nachbild sogar so, dass es mit seinem obern Ende frei in der Luft stand und einfach gesehen wurde, mit seinem untern Ende auf dem Papier zu liegen schien und dann in Doppelbilder aus einander trat. Es scheint mir dieser Versuch ebenso beweisend zu sein, wenn die Trennung des Nachbildes in Doppelbilder gelingt, als wenn sie nicht gelingt. Denn es zeigt dies, dass, sobald das Nachbild auf eine Ebene projicirt wird, die zur anfänglichen Ebene geneigt ist, das einfache Bild in ein Doppelbild aus einander tritt, während es einfach bleibt, so lange es projicirt wird auf eine Ebene, die zur anfänglichen Ebene parallel ist. Immerhin ist jedoch auffallend, dass hier keineswegs wie beim umgekehrten Versuch, bei der Projection von Doppelbildern auf eine Ebene zum Zweck der Vereinigung der Doppelbilder, der Erfolg mit zwingender Nothwendigkeit auftritt, sondern im Gegentheil sich nur als Ausnahmefall zeigt. Wir widerstreben hier offenbar der Trennung des Nachbildes, weil wir die Einfachheit des Objectes, durch dessen Betrachtung das Nachbild erhalten wurde, kennen und daher lieber stereoskopisch sehen, d. h. auf die Projection auf die gewählte Ebene verzichten.

In den obigen Untersuchungen sind, wie ich glaube, die wesentlichen Bedingungen des stereoskopischen Sehens festgestellt, und es ist dadurch möglich geworden, die stereoskopischen Erscheinungen auf bestimmte einfache Gesetze zurückzuführen. Eine Erklärung der eigenthümlichen binokularen Tiefenwahrnehmung ist aber in diesen Untersuchungen noch nicht enthalten. Dagegen wird es wohl möglich sein, nach dieser vollständigeren Zergliederung der stereoskopischen Erscheinungen zu urtheilen, ob die gangbare psychologische Hypothese dem ganzen Umfang dieser Erscheinungen zu genügen vermag.

Nun geben aber unsere Untersuchungen das Resultat, dass ebensowohl mit disparaten Netzhautstellen einfach gesehen werden kann wie mit correspondirenden Netzhautstellen doppelt, dass Einfach- und Doppelsehen der Objecte nicht abhängt von dem Ort der Netzhäute, auf dem das Bild der Objecte entworfen wird, sondern von dem Ort des äusseren Raums, auf den das Bild der Objecte bezogen wird. Dies aber widerstreitet unmittelbar der bisherigen psychologischen Hypothese, die, an der Identitätslehre festhaltend, Einfachsehen und Sehen mit correspondirenden Netzhautstellen gleich setzte, und die daher das stereoskopische Sehen auffasste als ein Sehen von Doppelbildern, bei dem aber die Seele, durch die Erfahrung veranlasst, die Doppelbilder auf ihren Grund zurückführen lernte. Unsere Versuche beweisen, dass man ebenso gut das Einfachsehen des fixirten Punktes oder überhaupt der sich binokular deckenden Bildpunkte eines Objectes ein ursprüngliches Doppelsehen nennen könnte, das erst durch die Erfahrung zum Verschwinden gebracht werde. Die Beobachtung zeigt, dass im einen Fall wie im andern die Verschmelzung mit der gleichen zwingenden Nothwendigkeit vor sich geht, wenn das Netzhautbild in der entsprechenden Weise auf die räumliche Ausdehnung des Objectes bezogen wird, und dass im einen Fall wie im andern Doppelbilder erscheinen, sobald diese Beziehung gestört wird.

Es ist damit keineswegs gesagt, dass nicht ein psychischer Akt der Verschmelzung der Doppelbilder zum Grunde liege. Im Gegentheil: allein ein psychischer Akt kann es sein, der jene die Verschmelzung bedingende Beziehung auf die räumliche Lage des gesehenen Gegenstandes ausführt. Aber es ist damit gesagt, dass, wenn ein psychischer Akt das Einfachsehen des stereoskopischen Bildes bedingt, dieser selbe psychische Akt ohne Zweifel auch das Einfachsehen des flächenhaften Bildes veranlasst. So führt uns das Studium der stereoskopischen

Erscheinungen auf indirectem Wege zu dem Schlusse zurück, dass auch der Entstehung des Sehfeldes bestimmte psychische Prozesse zu Grunde liegen müssen, und dieser Schluss erweitert sich dahin, dass die physischen Momente, durch welche die Seele zu jenen Processen veranlasst wird, wesentlich gleichartig sind bei der Entstehung des Sehfeldes wie bei der Ausbildung der binokularen Tiefenwahrnehmung, denn wir sehen bei der Untersuchung der ausgebildeten Wahrnehmungen, dass beide Wahrnehmungsakte ohne Grenze in einander übergehen.

Dis bisherige Hypothese nimmt an, dass das Sehfeld unmitelbar mit der flächenhaften Ausbreitung der Gesichtsempfindungen auf der Netzhaut gegeben sei, während sie die aus Doppelbildern hervorgehende binokulare Tiefenwahrnehmung als etwas streng davon Geschiedenes auffasst, bei dessen Zustandekommen sie der Mitwirkung psychischer Vorgänge nicht entbehren kann. Unsere Untersuchungen zeigen, dass eine solche Scheidung nicht durch die Beobachtung gerechtfertigt werden kann. In unseren ausgebildeten Gesichtswahrnehmungen ist nichts vorhanden, was dieselbe zu stützen vermöchte, im Gegentheil zeigen uns diese, dass, wenn auch flächenhafte Wahrnehmungen den Tiefenwahrnehmungen vorausgehen mögen, doch diese nicht erst als etwas Besonderes sich auf ganz neuem Wege aus jenen hervorbilden, sondern sie werden offenbar nur als ein gleichartiges Glied sich anschliessen an die Reihe jener Processe, durch welche die Seele sich die Raumanschauung aufbaut.

In der vorigen Abhandlung habe ich die physischen Momente, aus denen die Entstehung des Sehfeldes hervorgeht, erörtert. Ich habe zwei Momente namhaft gemacht, durch deren Zusammenwirken die Bildung der Flächenwahrnehmung gedacht werden kann: erstens die eigenthümliche vom Ort des Eindrucks abhängige Färbung der Empfindung, und zweitens die mit den Bewegungen des Auges verknüpften Muskelempfindungen. Es wurde erwähnt, dass eine locale Färbung der Empfindung im Auge in Bezug auf grössere Netzhautdistanzen durch Versuche nachgewiesen ist, und dass also hier die Hypothese nur verlangt, das in grösseren Distanzen deutlich Erkennbare auch in kleinen Distanzen als wirksam zuzulassen, ein Verlangen, für dessen Statthaftigkeit mehrere Gründe angeführt worden sind. Für den Einfluss der Bewegungsempfindungen des Auges wurden theils pathologische Erfahrungen geltend gemacht, theils wurde hingewiesen auf gewisse Eigenthümlichkeiten unserer ausgebildeten räumlichen Wahrnehmung, die, unter Zulassung des angenommenen Ein-

flusses, unmittelbar ableitbar sind aus dem, was die Rechnung in Bezug auf die Zugkräfte der Augenmuskeln bei einzelnen Bewegungen ergiebt, während sie ohne jene Annahme nicht erklärt werden können.*) Wollte man auch alle diese Thatsachen nicht für genügend erachten, um die aufgestellte Hypothese zur berechtigten Theorie zu erheben, so wird man doch finden, dass — sobald man einmal annimmt, dass die flächenhafte Anschauung uns nicht a priori gegeben ist, sondern von der Seele aus den Empfindungen erst gebildet wird — man nicht im Stande ist eine andere Hypothese aufzufinden, welche die Bildung des Sehfeldes zu erklären vermöchte. Denn sowohl die Netzhautempfindungen für sich wie die Bewegungsempfindungen für sich sind zur Erklärung nicht ausreichend, die Netzhautempfindungen und die Bewegungsempfindungen zusammen sind aber die einzigen physischen Momente, die überhaupt in diesem Falle sich annehmen lassen, und es zeigt sich, dass durch die gemeinsame Hülfe beider für die Seele die Möglichkeit der Construction des Sehfeldes vorhanden ist, sobald die Seele als ausgerüstet gedacht wird mit jenen Fähigkeiten, die sie erfahrungsgemäss besitzt.

Wir haben geglaubt mit Wahrscheinlichkeit schliessen zu dürfen, dass die gleichen Momente, welche der Bildung des Sehfeldes zum Grunde liegen, auch die binokulare Tiefenwahrnehmung möglich machen, weil die Beobachtung zeigt, dass es ungerechtfertigt ist, eine scharfe Grenze zwischen beiden Wahrnehmungsakten zu ziehen. In der That führt uns das Studium der stereoskopischen Erscheinungen zu denselben physischen Momenten zurück, und dies ist der Punkt, wo der Brücke'schen Hypothese eine gewisse Berechtigung zukommt. Aber diese Hypothese hat den ähnlichen Fehler gemacht, der den Erklärungsversuchen der Flächenwahrnehmung

*) Es ist mir seither von einigen in optischen Versuchen sehr geübten Beobachtern entgegnet worden, dass ihnen der scheinbare Unterschied gleicher verticaler und horizontaler Entfernungen, der hier gemeint ist, nicht so auffallend vorkomme, manchmal wohl auch ganz verschwinde. Ich glaube, dass allein Messungen, wie ich sie in der vorigen Abhandlung beschrieben habe, hier beweisend sind. Ausserdem möchte ich glauben, dass wir in diesem Fall auf das Urtheil Solcher mehr zu geben haben, die nicht durch vielfältige Erfahrungen die ursprüngliche Ungenauigkeit ihrer Wahrnehmungen vielleicht etwas corrigirt haben, also Solcher, die nicht viele messende Versuche mit ihrem Auge anstellen. Ich habe nun eine grössere Anzahl von Laien in dieser Hinsicht untersucht und immer nahezu den gleichen relativen Unterschied zwischen verticaler und horizontaler Distanz gefunden. Ausserdem finde ich, dass auch Oppel schon die gleiche Wahrnehmung gemacht hat, ohne aber messende Versuche anzustellen. (Jahresbericht des physik. Vereins in Frankfurt. 1858.)

anhaftet: diese blieben meistens bei den Netzhautempfindungen stehen, ohne die Bewegungsempfindungen des Auges mit in Rücksicht zu ziehen, so kamen sie nicht hinaus über das physische Netzhautbild, und wie dieses zur Wahrnehmung kommt, vermochten sie in Wirklichkeit nicht zu erklären; Brücke blieb im Gegentheil stehen bei den Bewegungsempfindungen und sah sich demzufolge genöthigt, jede einzelne binokulare Tiefenwahrnehmung erzeugt zu denken aus einer grossen Summe einzelner Bewegungen, eine Annahme, welche der Prüfung des Versuchs nicht Stand halten konnte. Diese Schwierigkeit schwindet aber alsbald, wenn man die locale Färbung der Empfindung in jedem einzelnen empfindenden Punkt der Netzhaut noch zu Hülfe nimmt: dann braucht die Seele ebenso wenig jede einzelne Tiefenwahrnehmung erst im Moment der Anschauung in ihrem ganzen Umfang sich zu erzeugen, als sie bei jeder einzelnen Flächenwahrnehmung sich erst ihr Sehfeld bildet. In beiden Fällen haben die Muskelempfindungen die Bedeutung, dass sie die Seele auf der empfindenden Fläche ihrer Netzhaut gewissermassen orientiren, aber sobald diese Orientirung einmal erfolgt ist, werden auch die Netzhautempfindungen für sich im Stande sein unmittelbar zu Wahrnehmungen Veranlassung zu geben, ohne dass deshalb die Bewegungsempfindungen für das spätere Leben ihre Bedeutung verlieren, da sie überall zu Hülfe gerufen werden müssen, wo es um eine genauere Abschätzung von Flächen- oder Tiefendistanzen sich handelt, und da ohne Zweifel ohne ihren fortdauernden regulirenden Einfluss die bestimmten örtlichen Beziehungen der Netzhautempfindungen mit der Zeit wieder verloren gingen.

Die erste Bildung der binokularen Tiefenwahrnehmung denken wir uns demnach auf folgende Weise. Tritt ein einzelner leuchtender Punkt in das gemeinsame Sehfeld, so stellt sich, vermöge des ursprünglichen Reflexmechanismus zwischen den Eindrücken des gelben Flecks und der Bewegung des Auges, den wir früher erörtert haben, jedes einzelne Auge so ein, dass das Bild des Punktes den gelben Fleck deckt, d. h. dass die Sehaxen im leuchtenden Punkte sich kreuzen. Die eigenthümliche Association der Bewegungen beider Augen lässt sich somit erklären als dadurch zu Stande kommend, dass jedes einzelne Auge demselben Reflexmechanismus Folge leistet. Ob ausserdem jener Association noch ein besonderer physiologischer Zusammenhang zu Grunde liegt, bleibt dahingestellt, und ist ein solcher bis jetzt wenigstens nicht erwiesen. — Treten zwei oder mehr leuchtende Punkte im gemeinsamen

Sehfelde auf, so erfolgt nach einem früher erörterten Princip eine successive Perception derselben mit dem Punkte des deutlichsten Sehens, indem die Bewegungstendenz des Auges sich einem neuen Eindrucke zuzuwenden in dem Maasse wächst, als die Stärke des gegenwärtigen Eindrucks in Folge der Ermüdung sich abstumpft; es findet somit, da dies für beide Augen gleichzeitig gilt, eine successive Fixation der im Sehfeld vorhandenen Lichtpunkte statt. Finden sich die gegebenen Lichtpunkte in einer Ebene, die der Angesichtsfläche parallel ist, so resultirt hieraus das gemeinsame Sehfeld, liegen aber die Lichtpunkte so, dass zu ihrer successiven Fixation merklich verschiedene Convergenzgrade erforderlich sind, so bildet sich die Tiefenwahrnehmung aus. In beiden Fällen besteht nun eine bemerkenswerthe Verschiedenheit. Gehen die Augen im gemeinsamen Sehfeld fixirend von einem ersten Punkt zu einem zweiten über, so fällt nach dieser Bewegung das Bild des ersten Punktes in beiden Augen auf Netzhautstellen von annähernd correspondirender Lage (mit Vernachlässigung nämlich der bei der Untersuchung des Horopters gefundenen Abweichung); gehen dagegen beide Augen von einem ersten Punkt zur Fixation eines zweiten über, der eine erhebliche Strecke vor oder hinter dem ersten gelegen ist, so fällt bei der zweiten Stellung das Bild des ersten Punktes in beiden Augen auf Netzhautstellen, die nicht correspondirend sind, und die von der Correspondenz sich um so weiter entfernen, je grösser der Unterschied der successiven Convergenzwinkel war. — Gehen nun die Augen fixirend von einem ferner zu einem näher gelegenen Punkt über oder umgekehrt, so geben die bei dieser Bewegung entstehenden Muskelempfindungen ebenso ein Maass des zurückgelegten Weges, als wenn die Augen sich im Sehfeld bewegen, aber die hierbei stattfindende Muskelempfindung, deren veranlassende Bewegung nur in einer Aenderung des Convergenzwinkels besteht, ist offenbar verschieden von den Muskelempfindungen, die entstehen, wenn der Fixationspunkt in einer und derselben Ebene herumschweift. Indem die Muskelempfindungen ebenso wie bei der Bildung des Sehfeldes auf ihre Ursache zurückbezogen werden, erscheint der zurückgelegte Weg nicht als eine flächenhaft ausgedehnte Entfernung, sondern als eine Tiefendistanz. Auch hier kann dieses Zurückbeziehen auf die Ursache nicht mit der Bewegungsempfindung allein gegeben sein, sondern es kann erst entstehen, indem zu dieser Empfindung noch die durch die Bewegung bedingte Veränderung in der localen Färbung der Netzhautempfindungen sich hinzugesellt, und diese

Veränderung ist, wie oben bemerkt, wesentlich anders bei der Tiefenbewegung des Fixationspunktes als bei der Bewegung desselben im Sehfelde, erst diese Verschiedenheit in ihrem Zusammenwirken mit der Verschiedenheit der Bewegungsempfindungen des Auges begründet die Tiefenwahrnehmung. — Nun braucht aber das Auge nicht bei jeder einzelnen Wahrnehmung jene Convergenzbewegung auszuführen, die ursprünglich die Wahrnehmung der Tiefendistanz vermittelte, sondern es wird für diese in den Netzhautempfindungen allein ein Maass gewinnen. Bei den Bewegungen des Fixationspunktes im gemeinsamen Sehfeld werden successiv die gesehenen Punkte über Netzhautstellen von correspondirender Lage bewegt, bei den Bewegungen des Fixationspunktes nach der Tiefe des Raumes fallen successiv die gesehenen Punkte auf Netzhautstellen von disparater Lage, und um so mehr, je grösser der Unterschied der auf einander folgenden Convergenzgrade ist. Auf diese Weise wird für die Seele, wenn beide Augen einen bestimmten Punkt fixiren, die correspondirende oder disparate Lage der übrigen Punkte des Objectes unmittelbar entscheidend, und sie fasst darnach das Object entweder auf als flächenhaft oder als nach drei Dimensionen ausgedehnt, und im letzteren Fall giebt ihr der Grad der Incongruenz unmittelbar ein Maass ab für die Grösse der Tiefenausdehnung.

Es ist in dem Obigen davon abgesehen worden, dass es streng genommen, wie die Untersuchungen über den Horopter lehren, gar kein gemeinsames Sehfeld von flächenhafter Ausdehnung giebt. Aber die Erfahrung zeigt, dass hiervon abgesehen werden kann, weil wir jene Incongruenzen der Netzhautbilder, die durch den Horopter bedingt sind, bei der Wahrnehmung ganz ausser Acht lassen, so dass wir erst durch besonders darauf gerichtete Versuche oder bei einer Nähe der fixirten Objecte, die nur als Ausnahmefall vorkommt, auf sie aufmerksam werden. Wir fassen unser gemeinsames Sehfeld im Allgemeinen als eine Ebene auf, die zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels senkrecht steht, in einer solchen Ebene ist auf den Netzhauttheilen, mit denen noch ein hinreichend deutliches Sehen möglich ist, die Incongruenz der Netzhautbilder in der That sehr gering und gar nicht in Betracht kommend gegen die beim Sehen körperlicher Objecte bestehende. Es mag aber auch sein, dass wir jene Incongruenz deshalb so leicht übersehen, weil sie unsere Wahrnehmung überall begleitet und doch für dieselbe keine Bedeutung hat.

Wir sind im Stande, den Einfluss der Convergenzbewegungen auf die Tiefenwahrnehmung mit weit grösserer Schärfe

zu beweisen, als wir den ähnlichen Beweis für den Einfluss der Bewegungen des Auges überhaupt auf die Entstehung des Sehfeldes zu führen vermochten. Wenn aber dort der Einfluss der Augenbewegungen mit aller Sicherheit zu beweisen ist, so ist dies Ergebniss offenbar auch für die Theorie der Bildung des Sehfeldes von Wichtigkeit, indem es die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass auch hier der gleiche Einfluss wirksam gewesen ist. Denn wenn trotz der früher beigebrachten Beweismittel die Annahme noch Schwierigkeiten haben sollte, dass die Bewegung des Auges in der erörterten Weise wirksam ist bei der Entstehung der räumlichen Wahrnehmung, so ist diese Schwierigkeit in gleicher Weise vorhanden bei der Flächen- wie bei der Tiefenwahrnehmung, wenn daher diese Schwierigkeit für den einen Fall durch die directe Untersuchung besiegt ist, so verschwindet sie auch für den andern. Ja, es scheint mir an sich, ganz abgesehen von den specielleren Gründen, viel schwieriger zu sein, anzunehmen, dass, was im einen Fall wirksam ist, im andern seine Wirksamkeit verliere, als vorauszusetzen, dass in beiden Fällen die räumliche Wahrnehmung in völlig gleichartiger Weise sich entwickele.

Der Beweis für den Einfluss der Convergenzbewegungen auf die Tiefenwahrnehmung ist im ersten Abschnitt dieser Abhandlung geführt worden, wo durch directe Versuche gezeigt wurde, dass wir an dem Convergenzzustand unserer Sehaxen ein äusserst feines Maass für die Entfernung der Gegenstände besitzen. Es fand sich jedoch, dass diese Feinheit der Tiefenwahrnehmung einen sehr hohen Grad nur in Bezug auf die relative Bestimmung der Entfernungen erreicht, während wir in der Schätzung der absoluten Entfernungen nicht unerheblichen Fehlern unterworfen sind. Dies spricht sich deutlich auch beim stereoskopischen Sehen aus. Wir vermögen, namentlich wenn das betrachtete Object nicht dem Auge sehr nahe ist, deutlich zu entscheiden, ob eine Contour vor oder hinter einer andern befindlich ist, aber die Grösse der Tiefendistanz können wir gewöhnlich nur sehr ungefähr angeben. — Diese Thatsache hat keineswegs etwas Auffallendes, wenn man erwägt, dass einer und derselben Tiefendistanz in verschiedenen Entfernungen vom Auge ein verschiedener Werth des Convergenzwinkels, und in Folge dessen auch ein verschiedener Grad der gegenseitigen Verschiebung der Netzhautbilder entspricht. Wollten wir über eine absolute Tiefenentfernung im freien oder stereoskopischen Sehen mit vollkommener Sicherheit urtheilen, so müssten wir somit jedesmal die wirkliche oder scheinbare Entfernung des Objectes vom Auge mit in

Rechnung ziehen. Zu einer so weit gehenden Beurtheilung gelangen wir nun offenbar in unseren Wahrnehmungen nur in sehr entfernter Annäherung. Es stellt sich ferner bei der Betrachtung der früher mitgetheilten Tabelle über die Unterscheidungsgrenze der Tiefendistanzen die interessante Thatsache heraus, dass in den verschiedenen Entfernungen des Objects vom Auge die Grösse des Drehungswinkels, also auch die Grösse des Contractionsumfangs der bewegenden Muskeln, die gerade noch wahrgenommen werden kann, eine verschiedene ist: je ferner die Objecte sich befinden, je mehr also die Sehaxen sich dem Parallelismus nähern, um so kleiner ist der Drehungswinkel, der noch wahrgenommen wird, je näher die Objecte rücken, in je grösserer Convergenz also die Sehaxen befindlich sind, um so grösser wird jener Drehungswinkel. So wurde z B. in 160 Cm. Distanz die Unterscheidungsgrenze = 3 Cm. gefunden, was einem Drehungswinkel von 1′ 13″ entspricht; in einer Entfernung von 50 Cm. Distanz wurde die Unterscheidungsgrenze = 1 Cm. gefunden, was einem Drehungswinkel von 4′ 12″ entspricht. Dies würde also bedeuten, dass ein schon zusammengezogener Muskel eine stärkere Verkürzung nöthig hat, wenn diese noch wahrgenommen werden soll, als ein Muskel, der eben erst anfängt sich zusammenzuziehen, ein Gesetz für die Muskelempfindungen, das den in andern Sinnesgebieten gültigen Thatsachen vollkommen entsprechend ist.

Bei weiteren Entfernungen als 160 Cm. nimmt der wahrzunehmende Drehungswinkel nicht mehr erheblich ab, so dass ungefähr 1′ als der kleinste Winkel betrachtet werden kann, der durch Drehung des Auges noch wahrzunehmen ist. Dieser Grenzwerth stimmt sehr nahe überein mit demjenigen Werth, der im Mittel für die kleinsten wahrnehmbaren Distanzen aufgefunden worden ist. Dieser bewegt sich bei den meisten der Beobachter zwischen 60 und 90 Winkelsekunden.*)

Wir haben in den obigen Untersuchungen den Beweis geführt, dass nicht blos ein einzelner Netzhautpunkt des einen Auges einem Netzhautpunkt von correspondirender Lage im andern Auge beigeordnet ist, um mit ihm allein räumlich einfache Empfindungen vermitteln zu können, sondern dass jeder Netzhautpunkt eines Auges sowohl mit einem Netzhautpunkt von correspondirender als von disparater Lage räumlich einfache und räumlich geschiedene Wahrnehmungen erzeugen kann, und dass beides nur davon abhängt, auf welche räum-

*) Vergl. die Tabelle bei Helmholtz, Physiologische Optik. S. 218.

liche Lage des äusseren Objects die Gesichtsempfindungen bezogen werden. Von vornherein, ohne dass der psychische Wahrnehmungsact vorhanden ist, werden aber die Empfindungen überhaupt gar nicht objectivirt, es haben daher in diesem Zustand die Netzhautempfindungen beider Augen keine auf die räumliche Wahrnehmung gehenden Beziehungen zu einander, es kann hier weder von Einfach- noch von Doppelsehen streng genommen die Rede sein, oder es könnte doch, wenn man die Empfindung an sich schon ein Sehen nennen wollte, dieses Sehen nur ein Doppelsehen genannt werden. Die obige Theorie der Raumanschauung verlangt in der That, dass die Netzhautempfindungen beider Augen von Anfang an getrennt neben einander bestehen, und dass dieselben erst im Verlauf des Wahrnehmungsprocesses zu einem einheitlichen Sehact verschmolzen werden. In diesem Wahrnehmungsprocesse können aber seiner Natur nach sowohl die Empfindungen correspondirender wie die Empfindungen nicht correspondirender Netzhautstellen zur Verschmelzung kommen, und beides hat für die einzelne Wahrnehmung seine bestimmte Bedeutung. Es kann aber, sobald man auch die Entstehung des Sehfeldes in das Gebiet des Wahrnehmungsprocesses hineinzieht, niemals aus diesem Processe ein festes Verhältniss zwischen bestimmten Netzhautpunkten sich hervorbilden, weil ein solches festes Verhältniss in den Empfindungen dieser Punkte eben nicht existirt. Dieser Wechsel in den Beziehungen der Empfindungen der Netzhautpunkte auf einander, der, da der ihn bedingende Wechsel in den Lageverhältnissen der Netzhautbilder von vornherein vorhanden ist, gleichzeitig mit der ersten Bildung räumlicher Wahrnehmungen überhaupt auch in seinen Elementen gegeben sein muss, ermöglicht erst die hohe Vollendung unserer Gesichtswahrnehmungen. Es ist eine gewöhnliche Betrachtungsweise, zu sagen, mit unsern zwei Augen betrachteten wir die äussere Welt von zwei verschiedenen Standpunkten, unsere binokularen Gesichtswahrnehmungen seien daher in dem Maasse vollkommener als das, was wir blos mit einem Auge wahrzunehmen vermöchten, wie ein Beobachter einen Gegenstand, den er von zwei Seiten betrachtet, genauer kennt, als wenn er ihn blos von einer Seite in's Auge fasst. Aber diese Betrachtungsweise erschöpft noch lange nicht die Vollkommenheit unserer binokularen Gesichtswahrnehmung. Sie würde nur zutreffen, wenn unser Auge bei jeder Wahrnehmung ruhend verbliebe. Aber indem wir die Augen fortwährend bewegen, wechseln wir fortwährend die Richtung, in der wir die Dinge betrachten: unsere Augen sind zwei

Beobachter, die in genauer Uebereinstimmung mit einander von verschiedenem Standpunkte aus den Gegenstand von allen möglichen Seiten in's Auge fassen, um schliesslich alle einzelnen Aufnahmen des Gegenstandes zu einem gemeinsamen Bild zu vereinen. Diese Einrichtung würde ihre hohe Bedeutung verlieren, wenn, wie es die Identitätslehre voraussetzt, die zwei Netzhäute durch einen anatomischen Mechanismus unauflöslich so aneinander gekettet wären, dass ein Netzhautpunkt nur mit dem ihm correspondirenden Punkt im andern Auge eine einfache Empfindung zu vermitteln vermöchte, und wenn die Tiefenwahrnehmung nur erst aus einer Vernachlässigung von Doppelbildern sich hervorbilden könnte. Es würde unsere Gesichtswahrnehmung, indem sie ihren einen Vorzug gewönne, ihren andern Vorzug, der von mindestens ebenso grosser Bedeutung ist, die Schärfe ihrer Auffassung, einbüssen. Die Bildung des Sehfeldes mag vielleicht früher abgeschlossen sein als die binokulare Tiefenwahrnehmung, weil zu jener schon das einzelne Auge befähigt ist; aber sobald einmal die Seele beide Gesichtsempfindungen zur Wahrnehmung verwendet, so muss unmittelbar auch die binokulare Tiefenwahrnehmung sich entwickeln, denn die Bedingungen für diese sind vorhanden, sobald der gemeinsame Sehact und die Bildung eines gemeinsamen Sehfeldes beginnt. Das binokulare Sehen fasst gemeinsames Sehfeld und Tiefenwahrnehmung gleichzeitig in sich. Der physische Mechanismus, der dem binokularen Sehen zu Grunde liegt, ist in Folge dessen ein verwickelterer, als er beim monokularen Sehact stattfand, es sind daher auch die psychischen Processe, aus denen die Seele sich die binokulare Gesichtswahrnehmung aufbaut, verwickelterer Natur: es handelt sich nicht mehr blos darum, jede einzelne Netzhautempfindung auf eine feste Bewegungsempfindung zurück zu beziehen, und daraus ein unveränderliches gegenseitiges Lageverhältniss für alle Netzhauteindrücke aufzufinden, sondern es handelt sich darum, zuerst die zusammengehörigen Netzhautempfindungen beider Augen auf einander zu beziehen, und dann erst dieselben auf die ihnen entsprechenden Bewegungsempfindungen zurückzuführen. Hier erfährt die Seele eine längere Reihe physischer Eindrücke, die für ihre Wahrnehmung von Bedeutung sind, und der Wahrnehmungsact selber muss auf eine längere Reihe unbewusster Schlüsse sich stützen. Aber diese Schlussprocesse folgen sich hier mit der gleichen Nothwendigkeit wie dort. So oft Gesichtseindrücke auf beide Augen stattfinden, wiederholt sich die ähnliche Reihe physischer Vorgänge in unabänderlicher Folge:

der Seele bleibt nicht die Wahl, nach Willkür ihre Gesichtseindrücke zu deuten, sondern sie wird durch eine immerfort sich häufende Zahl von Impulsen zu derjenigen Deutung unbewusst gezwungen, die der wahren Beschaffenheit der äusseren Gegenstände entsprechend ist.

Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, dass in dieser Theorie der binokularen Gesichtswahrnehmung vorausgesetzt ist, die Netzhautempfindungen beider Augen beständen von Anfang an getrennt und unabhängig neben einander und würden erst in der Wahrnehmung zu einem Ganzen verschmolzen. Zwar sprechen schon unsere bisherigen Untersuchungen für die Richtigkeit dieser Annahme, doch kann dieselbe noch nicht als direct bewiesen betrachtet werden. Diese Beweisführung soll die Aufgabe der folgenden Abhandlung sein.

Fünfte Abhandlung.

Ueber einige besondere Erscheinungen des Sehens mit zwei Augen.

Es sind im letzten Abschnitt der vorigen Abhandlung die Folgen erörtert worden, die aus gewissen Verschiedenheiten der Netzhautbilder beider Augen hervorgehen; es ist gezeigt worden, wie aus der Verschiedenheit der Ansicht, welche jedes Auge von einem und demselben äusseren Objecte gewinnt, in gesetzmässiger Weise die Wahrnehmung der Tiefe sich bildet. Es giebt aber ausser dieser in der Beschaffenheit der äusseren Gegenstände und des Sehorgans begründeten und deshalb fortwährend zum Einfluss kommenden Differenzen der Netzhautbilder noch andere, die weniger häufig, manche ohne absichtlich darauf gerichtete physiologische Versuche gar nicht vorkommen, und die trotzdem für das Studium des binokularen Sehaktes von grosser Bedeutung sind. Man kann zwei Klassen solcher Wechselbeziehungen der Gesichtseindrücke, die nicht in das Gebiet der stereoskopischen Erscheinungen im engeren Sinne gehören, unterscheiden: erstens Wechselbeziehungen unmittelbar zwischen den Licht- und Farbeempfindungen beider Augen ohne Rücksicht auf die besondere räumliche Anordnung derselben zu einem Netzhautbilde, und zweitens Wechselbeziehungen zwischen den räumlichen Wahrnehmungen beider Augen, wenn die Verschiedenheit dieser Wahrnehmungen eine willkürlich gewählte ist, die nicht einem reellen Objecte entspricht. Zunächst habe ich mich hier mit den Wechselbeziehungen der ersten Klasse zu beschäftigen. Diese geben zu verschiedenen Erscheinungen Veranlassung,

die man, wie ihre nähere Analyse zeigt, theils als Erscheinungen des binokularen Glanzes, theils als binokulare Contrasterscheinungen bezeichnen kann. Davon schliesst sich der binokulare Glanz noch unmittelbar an die stereoskopischen Erscheinungen an, so dass er sich sogar lediglich als ein besonderer Fall des stereoskopischen Sehens betrachten lässt, der binokulare Contrast hingegen führt in ein neues Gebiet von Erscheinungen ein, die theils ganz besonderer Natur sind, theils als Anwendungen der Gesetze des monokularen Contrastes auf das Sehen mit zwei Augen betrachtet werden müssen.

1. Ueber die Entstehung des Glanzes.

Der stereoskopische Glanz ist von Dove entdeckt worden.*) Er entsteht nach seiner Angabe, wenn Schwarz und Weiss oder verschiedene Farben unter einander und mit Weiss stereoskopisch combinirt werden. Es soll hier stets die Mischfarbe auftreten und dieselbe zugleich metallisch glänzend erscheinen. Auch die unter dem Namen des Wettstreites der Sehfelder bekannte Erscheinung, d. h. der Wechsel der einen Farbe mit der anderen, bildet nach Dove keine Ausnahme, da während des Farbenwechsels immer eine Zeit lang die Mischfarbe und Glanz gesehen wird.

Durch diese Versuche Dove's wurde zuerst die Thatsache endgültig festgestellt, dass wirklich eine stereoskopische Vereinigung zweier Farben oder von Weiss und Schwarz möglich ist, und dass nicht, wie bisher von Vielen behauptet worden war, dabei immer nur ein Wechsel der beiden Farben stattfindet. In dieser Hinsicht sind die Dove'schen Versuche seither von Brücke**) und von vielen Andern bestätigt worden. Aber es ist nichts desto weniger leicht erklärlich, dass an jener Thatsache so lange gezweifelt werden konnte. In der That sind die Effecte der stereoskopischen Combination ungemein verschieden von dem Erfolg der Farbenmischung. Dove hat den stereoskopischen Glanz als eine immer die Mischfarbe begleitende Erscheinung dargestellt, in der That aber tritt diese Erscheinung, wo es wirklich um Mischung beträchtlich verschiedener Farben sich handelt, so sehr in den Vordergrund, dass von einer deutlichen Farbenerkennung gar nicht mehr die Rede sein kann.

*) Pogg. Ann. Bd. 83, 1851, S. 180, und Farbenlehre, 1853, S. 177.

**) Berichte der Wiener Akademie, 1853, S. 213.

Dove hat ausser der einfachen Combination von Weiss und Schwarz oder von zwei verschiedenen Farben besonders folgenden Versuch zur Darstellung des stereoskopischen Glanzes angegeben: er zeichnet die stereoskopische Projection eines Prismas oder einer andern Figur für das eine Auge mit weissen Linien auf matt schwarzen Grund, für das andere Auge mit schwarzen Linien auf weissen Grund. Bei stereoskopischer Combination erscheint das Relief von graphitglänzenden Flächen begrenzt, und zeigt Kanten aus weissen und schwarzen in ihrer ganzen Länge sich berührenden Linien. Und zwar sollen, wenn das schwarze Blatt mit den weissen Linien vor dem linken Auge, das weisse Blatt mit den schwarzen Linien vor dem rechten Auge liegt, die weissen Linien sich rechts von den schwarzen befinden, während bei umgekehrter Anordnung sich auch die Anordnung der Linien umkehre. Ebenso verhalten sich nach Dove Farbencombinationen: man führt zu diesem Zweck beide Zeichnungen mit weissen Linien auf schwarzem Grunde aus und hält vor jedes Auge ein farbiges Glas, oder aber man macht die Zeichnungen für beide Augen mit verschiedenen Pigmenten. In beiden Fällen, ob man dioptrische oder katoptrische Farben combinirt, sind die Erfolge dieselben.

Auf diese Versuche hat Dove eine eigenthümliche Hypothese über die Ursache des monokularen wie des binokularen Glanzes gegründet. Er sagt: „Unter allen Fällen, wo eine Fläche glänzend erscheint, ist es immer eine spiegelnde, durchsichtige oder durchscheinende Schicht von geringer Mächtigkeit, durch welche man hindurch einen anderen Körper betrachtet. Es ist also äusserlich gespiegeltes Licht in Verbindung mit innerlich gespiegeltem oder zerstreutem, aus deren Zusammenwirkung die Vorstellung des Glanzes entsteht. Dies steigert sich bei der Anzahl der Abwechselungen beider Körper. Daher nimmt aufgeblätterter Glimmer Metallglanz an, Sätze von Glasscheiben hingegen Perlmutterglanz. Die beiden auf das Auge wirkenden Lichtmassen wirken auf dasselbe aus verschiedenen Entfernungen. Indem nun das Auge sich dem durch die durchsichtige Schicht gesehenen Körper anpasst, kann das von der Oberfläche zurückspiegelnde Licht nicht deutlich gesehen werden, und das Bewusstwerden dieser undeutlich wahrgenommenen Spiegelung erzeugt die Vorstellung des Glanzes.“ So erscheint z. B. ein mit Firniss überzogenes Gemälde glänzend, weil, während das Auge für die Farben des Gemäldes angepasst ist, gleichzeitig von dem Firniss gespiegeltes Licht in dasselbe dringt. Der Glanz verschwindet

aber augenblicklich, wenn man die Spiegelung wegschafft, indem man unter dem Polarisationswinkel durch ein Nikol'sches Prisma auf das Gemälde sieht: man sieht dann das Bild nur noch mit todten Farben.

In ganz entsprechender Weise soll nun der binokulare Glanz zu Stande kommen. Unser Auge ist bekanntlich nicht genau achromatisch, wir bedürfen daher, um deutlich zu sehen, für verschiedene Farben eines verschiedenen Accommodationsgrades. Halten wir daher vor beide Augen verschiedene farbige Gläser, oder betrachten wir verschiedene Pigmente, so muthen wir den Augen eine ungleiche Accommodation zu. Da nach Dove dieser Aufgabe nicht genügt werden kann, so werden die Bilder beider Augen sich nicht decken, sondern aus sich kreuzenden Richtungen auf eine Fläche projicirt werden, und es folgt hieraus, „dass man farbige Linien neben einander, farbige Flächen vor einander sehen wird.“ Versuche, die dies in Bezug auf Linien bestätigen, sind schon angeführt worden, und in Bezug auf Flächen bemerkt Dove, dass in dem Moment, wo aus der stereoskopischen Combination zweier Farben die Mischfarbe entstehe, es sei, als wenn man durch die eine durchsichtig gewordene Farbe die andere hindurchsehe.

Brewster hat gegen die Dove'sche Theorie bereits den Einwand erhoben, dass keineswegs, wie dies aus Dove's Darstellung hervorzugehen schien, unter allen Umständen, wenn man Schwarz und Weiss oder zwei Farben stereoskopisch combinirt, Glanz entsteht, sondern dass insbesondere der Glanz ausbleibt, wenn man eine weisse und schwarze Fläche oder zwei farbige Flächen combinirt, auf denen keine Zeichnungen entworfen sind. Brewster verwirft daher die Dove'sche Theorie, aber wie er selbst sich die Sache erklärt, ist nicht deutlich, da er nur sagt, der Glanz entstehe durch die Schwierigkeit, die beiden stereoskopischen Bilder zu combiniren.*)

Dove hat den von Brewster vorgebrachten thatsächlichen Einwand später zugegeben, ohne aber seine Hypothese im Wesentlichen zu ändern. Er bemerkt, dass die Accommodation mit der Richtung der Augenaxen zusammenhänge, dass diese letztere aber bei einer unbegrenzten farbigen Fläche unbestimmt bleibe, er sieht daher in dem Brewster'schen Versuch nur eine Bestätigung seiner Ansicht.**)

*) Athenaeum, 1855, S. 1125.

**) Optische Studien, Berlin 1859, S. 3.

Helmholtz hat dagegen an dem von Dove vorausgesetzten Einfluss der Accommodation Zweifel erhoben. Er glaubt vielmehr, dass der stereoskopische Glanz unmittelbar in den Gesetzen des binokularen Sehens begründet sei: matte Flächen müssen beiden Augen stets gleich beleuchtet und gleich gefärbt erscheinen, bei glänzenden Flächen dagegen kann es vorkommen, dass das eine Auge von dem mehr oder weniger regelmässig gespiegelten Licht getroffen wird, das andere nicht, so dass dem ersteren die Fläche in grösserer Helligkeit und, wenn das gespiegelte Licht von anderer Farbe als die Fläche ist, auch in anderer Farbe erscheinen kann. Wenn nun auch diese Differenzen in der täglichen Erfahrung sehr gering sein mögen, so sind es doch ähnliche Differenzen, die im Stereoskop den beiden Augen geboten werden, und sie werden daher in ähnlicher Weise beurtheilt.*)

Wirft man die Frage auf, ob der von Dove bei seiner Erklärung angenommene Einfluss der Accommodation möglich sei, so lässt sich dies nicht bestreiten. Einerseits weicht das Auge nicht unbeträchtlich von der Achromasie ab, und anderseits haben wir in der Accommodation ein ziemlich feines Hülfsmittel zur Bestimmung der Entfernungen (s. Abh. III. 1). Der Unterschied der Brennweiten des Auges für Roth und Violett beträgt, für Listing's reducirtes Auge berechnet, 0,434 Mm.**), wir haben aber gesehen, dass wir durch unseren Accommodationsapparat Veränderungen der Brennweite noch zu schätzen vermögen, die in die Hunderttheile eines Millim. fallen. Es muss also zugegeben werden, dass, wenn wir beiden Augen Farben verschiedener Brechbarkeit darbieten, möglicher Weise eine verschiedene Accommodation derselben stattfindet. Aber ist diese verschiedene Accommodation beider Augen die Wahrnehmung des Glanzes? Wir können beide Augen zu verschiedener Accommodation zwingen, indem wir jedem eine mit schwarzen Linien auf weisem Grund ausgeführte Zeichnung zur stereoskopischen Combination darbieten und dabei die eine Zeichnung in grössere Ferne bringen als die andere; wir sehen anfänglich die eine Zeichnung in Zerstreuungskreisen, nichts desto weniger zeigt sich keine Spur der Erscheinung des Glanzes; mittelst einiger Uebung bringen wir es leicht dahin, beträchtliche Accommodationsverschiedenheiten beider Augen herzustellen: trotzdem haben wir auch hier

*) Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der Rheinlande. 1856. Seite 27.

**) S. Helmholtz, Physiologische Optik. S. 126.

keineswegs die Wahrnehmung des Glanzes, ja wir werden nicht einmal gewahr, dass die eine Zeichnung ferner liegt als die andere, da wir in der Convergenz der Sehaxen ein noch feineres Hülfsmittel der Entfernungsbestimmung besitzen und daher die stereoskopische Combination ungefähr in den Convergenzpunkt verlegen.

Aber es giebt noch weit gewichtigere Gründe, welche die Dove'sche Hypothese als unhaltbar erscheinen lassen. Es würde nach derselben jedenfalls zu erwarten sein, dass, je verschiedener die Brechbarkeit zweier Farben, um so leichter und lebhafter die Erscheinung des Glanzes bei ihrer stereoskopischen Combination eintrete. Dies ist aber keineswegs der Fall; gerade Roth und Violett, die den stärksten Glanz geben sollten, sind zur Hervorbringung desselben sehr wenig geeignet, während umgekehrt Grün und Gelb, die sich im Spektrum sehr nahe stehen, leicht den binokularen Glanz geben. Schon eine oberflächliche Untersuchung zeigt, dass weit mehr als die verschiedene Brechbarkeit die verschiedene Helligkeit der Farben auf die Lebhaftigkeit des Glanzes von Einfluss ist. Dove selbst hat dies indirect zugegeben, indem er Weiss und Schwarz als die geeignetste Combination zur Erzeugung des Glanzes bezeichnet, aber freilich betrachtet Dove Weiss und Schwarz, die doch nichts anderes als die grösstmöglichen Helligkeitsunterschiede des gemischten Lichtes bedeuten, unbegreiflicher Weise wie zwei Farben verschiedener Brechbarkeit; er gesteht zwar zu, dass er diese verschiedene Brechbarkeit nicht durch directe Versuche habe ermitteln können, aber er meint, es gehe hieraus eben nur hervor, dass die Methode der Beobachtung des Glanzes feinere Unterschiede zu erkennen gestatte, als die unmittelbare Anschauung.

Es wird zweckmässig sein, wenn wir, ebenso wie dies Dove gethan hat, zunächst ausgehen von der Entstehung des monokularen Glanzes. Der monokulare Glanz tritt keineswegs unter allen Umständen ein, wenn gleichzeitig gespiegeltes und nicht gespiegeltes Licht ein Auge trifft Man halte über ein farbiges oder schwarzes Papier eine Glasplatte, die ungefähr unter einem Winkel von 45^0 geneigt ist, und spiegle in dieser Glasplatte ein andersfarbiges oder weisses Papier: man bekommt so eine aus dem durchfallenden und dem reflectirten Licht gemischte Farbe, niemals aber hat man die Erscheinung des Glanzes, wie man auch die Unterschiede der Farben und der Helligkeiten wählen mag. Es muss bei diesem Versuch, um eine gute Mischung zu bekommen, natürlich immer der Farbe, die im reflectirten Licht gesehen werden soll, eine

grössere Helligkeit gegeben werden. — Ebenso erhält man meistens keinen Glanz, wenn man zwei verschiedenfarbige Quadrate ausschneidet und beide auf Papiere von beliebiger aber einander gleicher Farbe legt.

Legt man hingegen auf einen dunkelfarbigen Grund ein ebenfalls dunkelfarbiges oder schwarzes, jedenfalls aber andersfarbiges Quadrat oder überhaupt ein begrenztes farbiges Papierschnitzel, und lässt man hierauf eine hellerfarbige Fläche sich spiegeln, in welcher ein gleichfalls helleres aber andersfarbiges Quadrat sich befindet, dessen Bild man mit dem direct gesehenen Quadrat zusammenfallen lässt, so erhält man einen äusserst lebhaften Glanz des Quadrates, während der Grund vollkommen glanzlos ist. Dabei wird das Quadrat wie der Grund zwar in der Mischfarbe gesehen, aber die Erscheinung des Glanzes verdeckt bei jenem die Mischfarbe, oder es ist vielmehr, als wenn man nicht eine Mischung der beiden Farben hätte, sondern die eine durch die andere hindurchsähe, so dass die Farbe des direct gesehenen und des gespiegelten Quadrates eigentlich noch einzeln in der Mischung erkannt wird. Die Lebhaftigkeit des Glanzes ist nach dem Ort des Spiegelbildes verschieden. Im Allgemeinen gelingt es am leichtesten Glanz zu erhalten, wenn man das Spiegelbild hinter die direct gesehene Farbe fallen lässt, der Glanz wird schwächer, wenn das Spiegelbild der letzteren sehr nahe kommt, und er verschwindet ganz, wenn es mit derselben zusammenfällt: es wird dann die glanzlose Mischfarbe gesehen.

Man lege z. B. ein schwarzes Quadrat auf dunkelrothen Grund, über denselben bringe man die geneigte Glasplatte und lasse in derselben ein weisses Quadrat auf gelbem Grunde so spiegeln, dass das Spiegelbild hinter das schwarze Quadrat fällt. Es entsteht dann ganz derselbe Stahlglanz, den man bei stereoskopischer Vereinigung von Weiss und Schwarz beobachtet; man glaubt durch das durchsichtige Schwarz das weisse Quadrat zu sehen, es entsteht auch nicht eine Mischfarbe, sondern man hat deutlich die Vorstellung des gleichzeitig gesehenen Weiss und Schwarz. Dabei erscheint das schwarze Quadrat nicht blos an der Stelle glänzend, wo es das weisse deckt, sondern an seiner ganzen Oberfläche, das ohne Spiegelung ganz matte Schwarz erscheint wie ein Spiegel, in dem das Bild des weissen Quadrats gesehen wird. Die Erscheinung hört aber auf, sobald man die Glasplatte so neigt, dass das Bild des weissen Quadrates unmittelbar auf dem schwarzen aufliegt; an der Stelle, wo beide sich decken, erscheint dann

Grau ohne Glanz, und das Schwarz selber, wo es nicht von dem Bilde bedeckt ist, erscheint vollkommen matt. Dreht man die Glasplatte so weit, dass das gespiegelte Bild vor das direct gesehene fällt, so gelingt es weniger leicht die Erscheinung des Glanzes zu sehen: ist das gespiegelte Bild sehr schwach, so verschwindet es leicht ganz, und ist es sehr hell, so verdeckt es leicht das andere. Bei geeigneter relativer Helligkeit der beiden Quadrate und des jedem zugehörigen Grundes gelingt es jedoch auch hier die Erscheinung des Glanzes hervorzurufen, die Vorstellung ist aber dann so, dass man das direct gesehene Quadrat durch das gespiegelte glaubt hindurchzusehen, man hält also dann die direct gesehene Farbe für gespiegelt in derjenigen, die in Wirklichkeit von der Glasplatte gespiegelt wird.

Der Glanz hört im obigen Versuch in den meisten Fällen auf, wenn man das weisse und das schwarze Quadrat auf gleichfarbigen Grund legt; dabei überwiegt immer entweder der weisse den schwarzen oder der schwarze den weissen Eindruck und bringt denselben zum Verschwinden, so dass also nicht die Mischung, sondern nur eines der beiden Quadrate gesehen wird. Legt man z. B. beide Quadrate auf dunkelblauen Grund, so überwiegt das gespiegelte Weiss, und man sieht das Schwarz gar nicht, legt man dagegen beide auf hellgelben Grund, so überwiegt das Schwarz, und man sieht das Weiss gar nicht. Ueberhaupt überwiegt auf hellem Grunde Schwarz und auf dunklem Grunde Weiss.

Man erhält dasselbe Resultat, wenn man zu dem Versuch farbige Quadrate auf andersfarbigem oder weissem oder schwarzem Grund verwendet. Bedingung zur Entstehung eines möglichst lebhaften Glanzes ist immer, dass die Farbe der Quadrate sowohl unter sich wie von ihrem Grunde verschieden sei. Der Glanz entsteht dann ferner am leichtesten, wenn jedes Quadrat gegen seinen Grund ungefähr gleich lebhaft contrastirt. Ist das letztere nicht der Fall, überwiegt der Contrast des einen Quadrats, so wird der Eindruck des andern gänzlich verdrängt.

Es wurde oben bemerkt, dass ebenfalls kein Glanz entsteht, wenn nicht zwei abgegrenzte farbige Objecte durch Spiegelung auf einander projicirt werden, wenn also ein farbiges Quadrat auf andersfarbigem Grunde direct betrachtet und darauf Weiss oder eine helle Farbe gespiegelt wird, es entsteht dann einfach eine Mischung. Man kann hingegen auch Glanz in diesem Fall hervorbringen, ohne ein andersfarbiges Quadrat als der Grund zu spiegeln; man erhält den

selben sogar sehr lebhaft, wenn man in dem weissen Papier eine Stelle mit schwarzen Linien umgrenzt und das Spiegelbild dieser Stelle auf das direct gesehene Quadrat fallen lässt. Man lege z. B. einen blauen Papierstreifen auf dunkeln Grund und spiegle darüber Weiss: es entsteht kein Glanz. Nun umgrenze man in dem Weiss ein Feld, das an Ausdehnung ungefähr dem Papierstreifen entspricht oder etwas kleiner ist, und lasse das Bild desselben mit dem blauen Streifen zusammenfallen: nun erscheint dieses alsbald in lebhaftem Glanze.

Der letzte Versuch beweist schlagend, dass nicht eine geeignete Mischung von Farben, die aus verschiedenen Entfernungen das Auge treffen, an sich die Erscheinung des Glanzes bedingen, sondern dass diese erst auftritt, sobald wir sehen oder zu sehen glauben, dass in einem begrenzten Object ein anderes sich spiegelt. Alle Bedingungen, welche bewirken, dass diese Spiegelung deutlicher hervortritt, erhöhen auch die Erscheinung des Glanzes. Hierauf beruht die Beziehung des Glanzes zum Contrast, die wir oben kennen gelernt haben. Der Glanz ist am lebhaftesten, wenn der Eindruck beider Objecte des direct gesehenen und des gespiegelten, gleichmässig durch Contrast gehoben werden, der Glanz verschwindet aber, wenn der eine Eindruck durch einseitigen Contrast zum Ueberwiegen kommt.

Es geht hieraus schon hervor, dass die Erscheinung des monokularen Glanzes nicht unmittelbar in der Empfindung gegeben ist oder gar auf objectiven Vorgängen beruht, sondern dass dieselbe lediglich erst durch die Vorstellung entsteht. Wir sehen einen Gegenstand glänzend, sobald in demselben andere Gegenstände sich zu spiegeln scheinen. Da aber schon die Erkennung eines Gegenstandes Product der Vorstellungsthätigkeit ist, so kann auch der Glanz, der von dem Sehen eines Gegenstandes durch einen andern abhängt, nur auf Vorstellungen beruhen. Man kann jedoch für die Thatsache, dass die Erscheinung des Glanzes nicht der reinen Empfindung bereits zufällt, noch andere Beweise beibringen.

Wollte man aus der unmittelbaren Empfindung den Glanz ableiten, so liesse sich derselbe nicht wohl auf eine andere Weise entstanden denken, als durch die unvollständige Achromasie des Auges, es würde dann die Dove'sche Theorie oder eine ihr doch ähnliche die richtige sein. Denn sollte auch die unvollkommene Achromasie nicht in Betracht kommen, so wäre überhaupt nicht zu begreifen, wie jemals etwas anderes als die Mischfarbe entstehen könnte. Ist es aber die

chromatische Abweichung, die den Glanz bedingt, so wird es zwar immerhin möglich sein, dass die Deutlichkeit der Erscheinung etwas zunimmt mit dem Unterschied der Helligkeit beider Farben, aber das Wesentliche der Erscheinung wird nicht hiervon, sondern von der verschiedenen Brechbarkeit der Farben bedingt sein. Je verschiedener die Wellenlänge, um so stärker wird der Glanz hervortreten müssen, während er bei Farben, die im Spektrum sich nahe stehen, auf ein Minimum herabsinkt.

Man kann sich durch den Versuch sehr leicht überzeugen, dass von dieser Folgerung nichts eintritt. Man combinire z. B. in der oben angegebenen Weise Roth und Violett. Nimmt man von beiden unbegrenzte farbige Flächen, so tritt natürlich wie bei allen Farben lediglich eine Mischung auf, wie oben schon bemerkt wurde. Aber auch wenn man die für das Hervortreten des Glanzes sonst günstigen Bedingungen herstellt, wenn man also Stückchen von beiden Farben auf contrastirendem Grund befestigt, so bleibt der Glanz doch sehr schwach. Bei Mischung von Roth und Blau wird der Glanz schon deutlicher, noch mehr tritt er aber hervor, wenn man, unter gleich günstigen Bedingungen, Roth und Grün mischt, während Roth und Gelb oder namentlich Roth und Orange wieder schwächeren Glanz geben. Dagegen geben Grün und Gelb, die im Spektrum unmittelbar neben einander stehen, wieder sehr lebhaften Glanz.

Die Vergleichung der verschiedenen Farben in Bezug auf ihre Fähigkeit, Glanz mit einander zu geben, führt man am zweckmässigsten so aus, dass man farbige Papierschnitzel nimmt, deren Pigmente den Spektralfarben ziemlich nahe kommen und möglichst von gleicher Helligkeit sind. Die zwei zu vergleichenden Farben legt man auf matt schwarzen Grund und hält zwischen sie eine Glasplatte, die sehr wenig geneigt ist; man verschiebt dann die beiden Papierschnitzel so, dass das Bild des einen durch das andere hindurch gesehen wird. Auf diese Weise kann man, mit den Farben wechselnd, die verschiedensten Pigmente nach der Reihe mit einander vergleichen. Es stellt sich so heraus, dass die Lebhaftigkeit des erzeugten Glanzes ganz und gar unabhängig ist von der verschiedenen Brechbarkeit der beiden Farben; sie hängt aber ab von einem andern Verhältniss, auf das wir hier näher eingehen müssen.

Wenn man zwei Farben mischt, so zeigt die Mischfarbe eine mehr oder weniger grosse Verschiedenheit von den Farben, die sie zusammensetzen. Wo die Mischfarbe beiden

Farben ähnlich ist, da sind auch die zusammensetzenden Farben unter sich ähnlich. Diese Aehnlichkeit ist eine ganz und gar subjective, die sich von dem objectiven Verhältniss der Farben zu einander durchaus unabhängig zeigt, die mit dem Unterschied der Wellenlängen gar nichts zu thun hat. Ja gerade die Farben mit der grössten Differenz der Wellenlängen gehören zu denjenigen, die sich subjectiv am nächsten stehen. Roth und Violett geben zusammen Purpur, und Purpur ist sowohl der rothen wie der violetten Grundfarbe ähnlich, aber Roth und Violett haben zweifelsohne auch unter sich eine subjective Aehnlichkeit. Ein entgegengesetztes Beispiel sind Blau und Gelb. Beide in geeigneten Verhältnissen gemischt geben Weiss, das von den zwei Grundfarben ganz verschieden ist, und Blau und Gelb sind selbst etwas subjectiv gar nicht Vergleichbares. Es zeigt sich nun, dass der gegenseitige Contrast zweier Farben nicht im Geringsten abhängt von der verschiedenen Wellenlänge, sondern lediglich von dieser subjectiven Verschiedenheit. Zwei Farben contrastiren um so mehr, je grösser ihre subjective Verschiedenheit ist, je mehr aber zwei Farben gegeneinander contrastiren, um so leichter geben sie unter den geeigneten Bedingungen die Erscheinung des Glanzes, so dass diese selbst sich benutzen lässt, um die Farben in subjectiver Hinsicht mit einander zu vergleichen.

Es ist eine bekannte Anschauung, die eben auf der subjectiven Aehnlichkeit von Roth und Violett beruht, dass man sich die Farbenreihe des Spektrums so zu einem Kreis geschlossen vorstellen könne, dass ihre Enden in einander übergehen. Diese Ordnung der Farben giebt in der That auch einen Massstab für die Lebhaftigkeit des Contrastes und des Glanzes. Die in dem Kreis sich am nächsten stehenden Farbentöne contrastiren so wenig, dass sie gar keinen Glanz geben, z. B. Roth und Violett, Violett und Indigblau, Blau und Grün. Die nächstfolgenden reinen Farbentöne, die am lebhaftesten contrastiren, sind Grün und Gelb. Das reine Grün und reine Gelb geben noch lebhaften Glanz mit einander, dieser verschwindet aber auch, wenn man die Uebergangsfarbentöne zwischen Grün und Gelb im Spektrum benützt.

Der Einfluss der subjectiven Verschiedenheit der gemischten Farben auf den monokularen Glanz reducirt sich wesentlich darauf, dass von dieser Verschiedenheit der Contrast der Farben abhängt. Aber es kann ein solcher Contrast auch durch andere Verhältnisse befördert werden, und es kann dann Glanz entstehen bei Mischung von Farbentönen, die sich

sonst subjectiv sehr nahe stehen, ja sogar übereinstimmen. So können Farben, die blos an Helligkeit verschieden sind, mit einander Glanz geben. Hierher gehört als extremster Fall der Glanz, der durch Deckung weisser und schwarzer Objecte entsteht: es ist dies die lebhafteste Glanzerscheinung, die überhaupt sich hervorbringen lässt. Weiss und Schwarz sind aber ja blos die äussersten Stufen der Helligkeit des gemischten Lichtes. Man kann ebenso durch Deckung zweier gleicher Farbenstreifen, von denen man den einen durch Contrast gegen seinen Grund oder durch Beimischung von Weiss heller macht, Glanz hervorrufen. Man nehme z. B. zwei Papierstreifen von lebhaft blauer Farbe. Den einen lege man auf schwarzen Grund, den andern klebe man auf weissen Grund, und durch Spiegelung in einer schräg gehaltenen Glasplatte lasse man das Bild des letzteren mit dem ersteren zusammenfallen. Der blaue Streifen auf schwarzem Grund erscheint dann viel heller als der blaue Streifen auf weissem Grund, theils wegen des Contrastes mit dem Grund, theils weil sich ihm weisses gespiegeltes Licht beimischt. Man sieht dann, wenn man die Objecte so zur Deckung bringt, dass das Bild des gespiegelten Streifens hinter den direct gesehenen fällt, diesen in lebhaftem Glanze.

Der Contrast der in einander gespiegelten farbigen Gegenstände zu einander und zn dem Grund, auf dem sie gezeichnet sind, ist nur wirksam bei der Entstehung des Glanzes durch die grössere Deutlichkeit, mit der er die Auffassung beider Objecte möglich macht. Dies geht daraus hervor, dass die Entstehung des Glanzes eben wesentlich abhängig ist von der Trennung der zwei in einander gespiegelten Objecte in der Vorstellung. Es wurde schon oben erwähnt, dass der Glanz nur eintritt, wenn wir so spiegeln, dass das Bild des gespiegelten Gegenstandes hinter oder auch vor dem direct gesehenen liegt, dass aber der Glanz ganz ausbleibt und die reine Mischfarbe auftritt, wenn wir beide zusammmenfallen lassen. Es hängt damit unmittelbar folgende Erscheinung zusammen. Benützen wir zu dem Versuch Weiss und Schwarz oder auch zwei Pigmente, die leicht Glanz zusammen geben, aber so, dass der gespiegelte Papierstreifen keine Zeichnung hat, aus der wir ein Urtheil über die Lage seines Bildes entnehmen können, und betrachten wir nun das Object, nachdem wir die beiden Farben in der geeigneten Weise zur Deckung gebracht haben, blos mit einem Auge, so tritt kein Glanz und nur Mischfarbe auf, auch wenn das Bild des gespiegelten Gegenstandes hinter dem direct gesehenen liegt. Der Glanz zeigt

sich aber augenblicklich, wenn wir das geschlossene Auge öffnen, wobei wir zugleich erst ein Urtheil über die Entfernung des gespiegelten Gegenstandes erhalten, der uns vorher unmittelbar mit dem direct gesehenen Objecte zusammen zu fallen schien. Wir erhalten aber auch schon bei monokularer Betrachtung schwachen Glanz, wenn wir das gespiegelte Object etwas hin und her bewegen, oder besser die spiegelnde Glasplatte etwas drehen: wir bekommen dann aus der Bewegung des Spiegelbildes ein Urtheil über dessen Entfernung. Viel lebhafter aber können wir bei monokularer Betrachtung den Glanz erhalten, wenn wir in dem gespiegelten Object eine Zeichnung anbringen, aus deren perspektivischer Spiegelung wir auf die Entfernung des Bildes zu schliessen vermögen; ja wir können auf diese Weise monokularen Glanz erhalten, der bei binokularer Betrachtung wieder verschwindet: wenn wir nämlich die Zeichnung von vornherein perspektivisch verfertigen, sie dann aber so spiegeln lassen, dass ihr Bild mit dem direct gesehenen Objecte zusammenfällt; wir urtheilen dann, dass das Bild hinter diesem Object liege, und sehen in Folge dessen Glanz. Dieser Glanz verschwindet aber augenblicklich, wenn wir das andere Auge öffnen, indem wir nun mit Bestimmtheit sehen, dass uns die monokulare Betrachtung getäuscht hat.

Noch auffallender wird der Einfluss des Sehens mit zwei Augen auf die Erscheinung des Glanzes, wenn man den Versuch so einrichtet, dass die Bilder, die beide Augen erhalten, von erheblicher Verschiedenheit sind, so dass der Einfluss des stereoskopischen Sehens zur Wirkung kommt. Hier muss man also in grosser Nähe beobachten und dem einen Auge entweder nur einen Theil des gespiegelten Bildes oder gar nichts von demselben, dagegen das ganze direct zu sehende Bild darbieten, dem andern Auge das ganze gespiegelte Bild und nur einen Theil des direct zu sehenden. Man befestige z. B. eine Glasplatte unter einem Winkel von ungefähr 40^0 auf dem Tisch, so dass dieselbe nach rechts geneigt ist, rechts von der Glasplatte lege man einen schwarzen Papierstreifen auf blauen Grund, der durch die Glasplatte direct gesehen wird, links davon einen weissen Papierstreifen auf schwarzen Grund, dessen Bild von der Glasplatte reflectirt wird. Nun blickt man mit beiden Augen so in die Glasplatte, dass man mit dem linken Auge nur den schwarzen Streifen, mit dem rechten Auge nur das Bild des weissen Streifens sieht. Jedes einzelne Auge giebt dann Schwarz oder Weiss ohne Glanz, beide zusammen lebhaften Glanz. Bei diesem Versuch sieht

das rechte Auge eigentlich das Bild des weissen Streifens hinter dem schwarzen Streifen liegen, aber jenes verdrängt diesen durch den Contrast vollständig, so dass das Auge reines Weiss zu sehen glaubt; doch wird bei dieser Versuchsanordnung die Lebhaftigkeit des Glanzes dadurch erhöht, dass das weisse Bild in beträchtlicher Entfernung hinter dem schwarzen Streifen zu liegen scheint; dreht man das weisse Papier, bis sein Bild mit dem schwarzen Streifen zusammenfällt, so wird die Lebhaftigkeit des Glanzes verringert, aber er wird in diesem Fall nicht ganz aufgehoben.

Wir sehen somit, dass das Sehen mit zwei Augen im Allgemeinen die Wahrnehmung des Glanzes begünstigt, aber diese Begünstigung beruht nur auf der genaueren Erkenntniss der Tiefenentfernungen, die das binokulare Sehen ermöglicht; wir können aber mit einem Auge ebenso gut Glanz sehen, wenn wir nur den Versuch so einrichten, dass wir den einen der gesehenen Gegenstände h i n t e r dem andern zu sehen glauben. Da diese Bedingung in der Natur immer nur bei spiegelnden Gegenständen verwirklicht ist, so ist die häufigste Bedingung des Glanzes allerdings die, dass unser Auge gleichzeitig von dem Eigenlicht eines Gegenstandes und von dem an der Oberfläche desselben reflectirten Lichte getroffen wird. Die Beschaffenheit des Glanzes hängt dann ganz von der Beschaffenheit des reflectirten Lichtes und von der Art der Reflexion ab. Der Glanz ist stark oder schwach, wenn das reflectirte Licht mehr oder weniger hell ist. Matter Glanz entsteht, wenn die gespiegelten Objecte nur sehr undeutlich gesehen werden, wenn also z. B. durch Unebenheiten der spiegelnden Fläche das Licht zerstreut wird, oder wenn mehrere spiegelnde Flächen hinter einander liegen. Im letzteren Fall entstehen um alle gespiegelten Gegenstände grosse Zerstreuungskreise; man kann diese Art des matten Glanzes hervorbringen, wenn man eine grosse Zahl dünner Glasplatten über einander schichtet. Ebenso wird der Glanz matt, wenn das gespiegelte Licht von einem Object herzukommen scheint, das sehr nahe hinter der spiegelnden Fläche liegt. Es lassen wohl alle diese Ursachen der geringeren Lebhaftigkeit des Glanzes sich auf e i n e zurückführen. Wenn durch Lichtzerstreuung oder durch vielfache Spiegelung hinter einander um die gespiegelten Objecte Zerstreuungskreise entstehen, so haben wir kein sicheres Urtheil über den Ort der Spiegelbilder, aber wir verlegen dieselben im Allgemeinen nahe hinter die spiegelnde Fläche. Es scheint also der Glanz immer dann matt zu sein, wenn Spiegelbild und direct gesehenes Object

nahe zusammenfallen. Wir haben gesehen, dass der Glanz vollkommen aufhört, wenn dieselben wirklich zusammenfallen, mit Ausnahme des stereoskopischen Glanzes, welcher entsteht, wenn dem einen Auge das directe, dem andern das gespiegelte Bild geboten wird, und welcher auch dann noch fortbesteht. Aber diese Ausnahme ist leicht erklärlich: in der Wirklichkeit können nämlich jene beiden Bedingungen, dass das eine Auge ein Object und das andere ein auf demselben gespiegeltes Bild sieht, und dass beide, Object und Bild, an denselben Ort fallen, niemals zusammen vorkommen, wir haben diese Bedingungen in dem obigen Versuch nur durch eine Täuschung zu vereinigen vermocht, indem die Fläche des Objectes, die zu spiegeln schien, wie in allen diesen Versuchen gar nicht die spiegelnde war. Es wird also in jenen Fällen doch immer, den Gesetzen des stereoskopischen Sehens gemäss, das Spiegelbild an einen andern Ort verlegt werden als das gesehene Object.

Es beweisen somit alle Versuche, dass nicht die Lichtspiegelung an sich die Erscheinung des Glanzes bedingt, sondern dass dieser erst hervortritt, wenn wir ein Spiegelbild sehen, dessen Ort hinter dem spiegelnden Gegenstand liegt. Es ist hiernach zu vermuthen, dass der Glanz zu seiner Erscheinung nicht stets des Zusammentreffens von directem und gespiegeltem Lichte bedarf, sondern wenn lediglich das Sehen eines Gegenstandes hinter einem andern Glanz hervorruft, so werden wir diesen vielleicht auch ohne alle Spiegelung hervorzurufen vermögen. Um aber zwei Gegenstände hinter einander zu sehen, muss natürlich der erste durchsichtig sein. Betrachten wir nun Gegenstände durch eine farblose oder farbige Glasplatte, so tritt bekanntlich keine Spur von Glanz auf, und es versteht sich dies von selber, denn wenn wir durch eine Glasplatte sehen, so ignoriren wir das Vorhandensein derselben vollständig, und wenn auch die Glasplatte farbig ist, so legen wir doch die Farbe nur den Gegenständen zu, die wir durch die Glasplatte sehen. Dagegen lässt sich durch folgenden Versuch Glanz ohne Zuhülfenahme gespiegelten Lichtes erhalten. Man lege auf ein blaues Glas ein rothes Papier, in welches ein kleines Fenster eingeschnitten ist, so dass also die Oeffnung des Fensters blau und durchsichtig erscheint. Hinter das Glas halte man in einiger Entfernung einen weissen Papierstreifen. Mit beiden Augen betrachtet erscheint alsbald die Fensteröffnung in lebhaftem Glanze, schliesst man das eine Auge, so hört der Glanz auf, weil man nun glaubt, der weisse Streifen falle mit dem Fenster zusammen, dieses sei

an der Stelle, wo es den Streifen deckt, hellblau und undurchsichtig. Bringt man aber auf dem weissen Papier eine perspektivische Zeichnung an, durch welche man auch bei monokularer Betrachtung überzeugt wird, dass wenigstens ein Theil der Zeichnung hinter dem Fenster liegen muss, so tritt der Glanz auch hier ein, doch nicht ganz so lebhaft als beim Sehen mit zwei Augen.

Wenn so einerseits die Spiegelung keineswegs nothwendige Bedingung für den Glanz ist, so sind anderseits ebenso wenig Spiegelung und Glanz mit einander zusammenfallend. Eine regelmässig spiegelnde Oberfläche glänzt gar nicht, weil wir bei der Betrachtung der gespiegelten Gegenstände den spiegelnden Körper ganz übersehen: in einem Spiegel sehen wir die gespiegelten Objecte ganz so, als wenn wir sie direct betrachteten. Die Unterschiede, welche die Sprache macht, indem sie die drei Ausdrücke Leuchten, Spiegeln und Glänzen braucht, sind wissenschaftlich vollkommen begründet, wenn auch in der Natur Uebergänge genug vorkommen. Ein Gegenstand leuchtet, der von seiner Oberfläche gleichmässig Licht von gleicher Helligkeit ausstrahlt. Diese Bedingung der gleichmässigen Lichtausstrahlung ist in den meisten Fällen nur realisirt, oder vielmehr wir bemerken nur dann, gemäss dem psycho-physischen Gesetze, die noch vorhandenen Unterschiede der Helligkeit nicht, wenn die Lichtintensität eine sehr bedeutende ist; daher fällt das Leuchten meist mit einer grossen Lichtstärke zusammen, obgleich dies Zusammenfallen nicht unbedingt nothwendig ist; aus diesem Grunde leuchten Gegenstände auch vorzugsweise leicht im Dunkeln, weil wir dann die lichtschwächeren Stellen ihrer Oberfläche gar nicht sehen; so kann ein spiegelnder oder glänzender Gegenstand bei hereinbrechender Dnnkelheit zum leuchtenden werden. Ein Gegenstand spiegelt, dessen Oberfläche durch Reflexion ein solches Bild der umgebenden Objecte entwirft, dass wir den spiegelnden Gegenstand selber über der Betrachtung der Spiegelbilder vernachlässigen, indem wir diese gewissermassen als die direct betrachteten Gegenstände ansehen. Zur reinen Spiegelung gehört daher erstens eine gewisse Deutlichkeit der Spiegelbilder und zweitens eine solche Beschaffenheit des spiegelnden Gegenstandes, dass dieser nicht unsere Hauptaufmerksamkeit auf sich zieht; ebene oder gleichförmig gekrümmte polirte Flächen sind daher am häufigsten spiegelnde Objecte, insbesondere wenn sie farblos oder wenigstens gleichfarbig sind. Hat ein Object eine ausgeprägte Farbe, so regt dies schon leicht unsere Aufmerksamkeit an, und dies findet in

noch höherem Masse statt, wenn die Farbe nicht gleichmässig über die Oberfläche vertheilt ist. Wir nennen endlich einen Gegenstand glänzend, wenn derselbe so beschaffen ist, dass wir zugleich den Gegenstand und die von demselben entworfenen Spiegelbilder in's Auge zu fassen genöthigt sind, wenn wir also gleichzeitig verschiedene Gegenstände sehen, die hinter einander in verschiedener Entfernung vom Auge gelegen scheinen, und die daher sich decken sollten. Zu diesem gleichzeitigen Auffassen des Objectes und seiner Spiegelbilder ist nothwenig, dass keines von beiden über das andere das Uebergewicht erlange: werden die Spiegelbilder unmerklich, so hört natürlich der Glanz auf, wir sehen nur noch den Gegenstand in seinem eigenen Lichte, werden aber die Spiegelbilder sehr stark, so geht der Glanz in Spiegelung über. Dabei ist aber die Deutlichkeit, welche die Spiegelbilder erreichen dürfen, bei verschiedenen Objecten sehr verschieden, und es hängt dies lediglich davon ab, ob die Beschaffenheit des Objectes die Aufmerksamkeit auf sich zieht oder nicht. Ein auffallendes Beispiel sind in dieser Hinsicht viele Daguerre'sche Lichtbilder: die jodirte Silberplatte spiegelt manchmal so gut, dass sie sich ganz wohl als Spiegel benutzen liesse, aber da man dies nicht beabsichtigt, sondern das auf der Platte befindliche Bild zu betrachten wünscht, so bekommt man den Eindruck eines sehr grellen Glanzes. Der Glanz ist daher in allen Fällen, wo es sich um deutliche Betrachtung des Gegenstandes oder der Spiegelbilder handelt, nur störend, weil fortwährend die Aufmerksamkeit von dem abgelenkt wird, was man eigentlich zu sehen wünscht.

Es geht aus dem Obigen hervor, dass es eine scharfe Grenze zwischen Leuchten, Spiegeln und Glänzen in der Natur nicht giebt. Ein und derselbe Gegenstand kann unter verschiedenen Umständen leuchten, spiegeln oder glänzen. Ein von der Sonne bestrahlter Fluss oder See, den wir aus grosser Ferne betrachten, leuchtet, er glänzt, wenn wir aus mässiger Entfernung auf ihn blicken, und er spiegelt, wenn wir von oben in ihn hineinsehen. Alle undeutliche Spiegelung wird leicht zu Glanz, weil wir dabei leicht neben den Spiegelbildern das Object in Betrachtung ziehen, aber auch bei deutlicher Spiegelung kann Glanz vorhanden sein, wenn wir nicht die Spiegelbilder, sondern das Object beachten. Es kann ferner der gleiche Gegenstand dem Einen von zwei Beobachtern glänzen, während er dem Anderen spiegelt, denn es hängt der Unterschied von Glanz und Spiegelung nicht blos von dem Gegenstand, sondern auch von uns ab.

In Bezug auf die Farbenempfindung findet in allen Fällen bei der Erscheinung des Glanzes eine Eigenthümlichkeit statt, die für die Theorie desselben von Wichtigkeit ist. Wenn wir nämlich einen Gegenstand und zugleich ein an ihm gespiegeltes Bild sehen, so trifft gleichzeitig directes und reflectirtes Licht unser Auge. Es wäre daher zu erwarten, dass auch die Farbenempfindung, die wir haben, eine gemischte sei. Nichts desto weniger lässt sich die Farbenempfindung beim Glanze nicht mit der Mischempfindung vergleichen. Wir sehen bei der Erscheinung des Glanzes weder die directe noch die gespiegelte Farbe rein, und sehen doch auch keine Mischung beider. Was die Farbenwahrnehmung beim Glanze von der Wahrnehmung gemischter Farben unterscheidet, ist, dass wir dort die gemischte Farbe, welche unser Auge empfindet, in ihre Bestandtheile aufzulösen vermögen, während bei der wahren Mischempfindung die Farben unauflösbar zusammenfliessen. Wie wir beim Glanze den gespiegelten Gegenstand durch den spiegelnden hindurch zu sehen glauben, so meinen wir auch die Farbe des ersteren durch die des letzteren hindurch und nicht mit ihr gemischt zu sehen, d. h. während wir beide Farben zugleich sehen, unterscheiden wir sie noch von einander. Spiegeln wir z. B. in geeigneter Weise ein weisses in einem schwarzen Quadrat, so sehen wir nicht Grau, sondern wir unterscheiden deutlich Weiss und Schwarz als Farben hinter einander gelegener Objecte. Man kann den Uebergang der Mischempfindung in die Trennung der Eindrücke beim Glanze deutlich nachweisen, indem man nach der früher erörterten Methode die eine Farbe über der andern in einer geneigten Glasplatte so spiegeln lässt, dass zuerst die beiden farbigen Objecte zusammenfallen, wo einfache Mischempfindung auftritt, und dass dann das Spiegelbild hinter das direct gesehene Object fällt, wo Glanz entsteht, indem die eine Farbe durch die andere gesehen zu werden scheint. Dies hat beim stereoskopischen Glanz bereits Dove bemerkt, aber er ist dadurch zu seiner unrichtigen Erklärung geführt worden, indem er das Projiciren in verschiedene Entfernungen von der Accommodation abhängig glaubte und daher den Glanz auf eine physikalische Ursache, auf die mangelhafte Achromasie des Auges zurückführte.

Wir haben schon oben den Schluss gezogen, dass der Glanz erst als Product der Vorstellungsthätigkeit auftritt. Er entsteht, sobald wir hinter einem Gegenstand und von diesem gedeckt einen anderen sehen und zur gleichzeitigen Auffassung beider Objecte genöthigt werden. Wir können jetzt weiterhin

den Glanz als einen solchen Urtheilsprozess definiren, bei welchem die einzelnen Bestandtheile einer gegebenen Mischempfindung von einandar losgelöst und für sich in der Weise vorgestellt werden, wie es der räumlichen Beschaffenheit der objectiven Eindrücke entspricht. Weit entfernt unmittelbar in der Empfindung gegeben zu sein, ist der Glanz vielmehr das Product einer Trennung der reinen Empfindung in ihre Bestandtheile vermittelst des Urtheils. Diese Trennung der Empfindung, der Mischfarbe in ihre Componenten, oder einer mittleren Helligkeit in verschiedene Helligkeitsgrade, ist es sogar, welche die wesentliche Erscheinung des Glanzes erst ausmacht. Die gleichzeitige Auffassung zweier hinter einander gelegener Gegenstände ist erst die veranlassende Ursache, noch nicht der Glanz selber, aber diese Ursache führt nothwendig zum Glanze, weil mit der Trennung der Gegenstände auch die Trennung ihrer Farben oder Helligkeiten von einander unmittelbar gegeben ist, ja selbst wieder erst durch diese Trennung möglich wird.

Darin, dass wir beim Glanze genöthigt werden auf zwei differente Gegenstände, den direct gesehenen und den gespiegelten, gleichzeitig unsere Aufmerksamkeit zu wenden, liegt die Ursache, dass der Glanz in allen Fällen die deutliche Wahrnehmung stört. Diese Störung hat aber nicht ihren hauptsächlichsten Grund in der Unmöglichkeit der gleichzeitigen Accommodation für beide Bilder, denn sie besteht noch fort, wenn wir den Versuch so einrichten, dass wir gleichzeitig für beide Bilder accommodirt sind. Dies lässt sich leicht verwirklichen, wenn man aus etwas grösserer Entfernung beobachtet und das Spiegelbild nicht weit hinter den spiegelnden Gegenstand fallen lässt. Hier lässt sich, namentlich bei der Beobachtung mit zwei Augen, immer noch leicht erkennen, dass beide Bilder nicht zusammenfallen, wenn auch die Zerstreuungskreise unmerklich werden: es tritt nichts desto weniger auch hier Glanz auf, und es ist die deutliche Wahrnehmbarkeit beider Bilder vermindert. Die Accommodation vermag nur unter Umständen zu dieser Undeutlichkeit der Wahrnehmung noch etwas beizutragen, aber was diese wesentlich bedingt ist die Unmöglichkeit, gleichzeitig zwei Dinge klar vorzustellen, die sich nicht in e i n e Vorstellung vereinigen lassen. Wir erhalten beim Glanze die Vorstellung eines Gegenstandes, der das Bild eines andern spiegelt, aber den Gegenstand deutlich aufzufassen verhindert uns das Spiegelbild, und das Spiegelbild deutlich aufzufassen verhindert uns der Gegenstand. Es kann überdies nicht anders als uns schwer

werden und nur unvollkommen gelingen, die Farben und die Helligkeiten des Gegenstandes und des Spiegelbildes zu trennen, denn sie existiren ungetrennt in unserer Empfindung; es bleibt nur dem Urtheil überlassen, dem einen und dem andern das ihr Zugehörige zuzutheilen, und dies Urtheil kann in den meisten Fällen nur ein unsicheres sein. Wo aber die Trennung sehr deutlich ist, wo die Farben und Helligkeiten der Spiegelbilder scharf erkannt werden, da hört der Glanz auf und fängt die Spiegelung an.

Gehen wir von der Betrachtung des Glanzes im Allgemeinen über zur Untersuchung des stereoskopischen Glanzes, so sehen wir für die Beurtheilung des letztern schon im Vorhergehenden die Anhaltspunkte gegeben. Der stereoskopische Glanz ist nichts anderes als eine besondere Form des Glanzes, bei welcher die Bedingungen zum Auftreten desselben besonders günstig gewählt sind. Der Grundversuch, aus welchem der stereoskopische Glanz seine Erklärung findet, ist oben schon mitgetheilt worden. Wir sahen, dass der Glanz besonders intensiv auftritt, wenn man nur in das eine Auge das Spiegelbild fallen lässt, während das andere Auge nur das scheinbar spiegelnde Object sieht. Es kommt hier das stereoskopische Sehen zum Einfluss: indem wir in dem spiegelnden Gegenstand nur mit dem einen Auge das Spiegelbild sehen, während dasselbe dem anderen Auge verdeckt bleibt, werden wir zu der Vorstellung genöthigt, dass das Spiegelbild in einer bestimmten Entfernung hinter dem spiegelnden Gegenstand liege. Wir sehen aber, dass Alles, was die räumliche Trennung beider befördert, auch die Lebhaftigkeit des Glanzes erhöht, während der Glanz verschwindet, wenn Spiegelbild und Gegenstand zusammenzufallen scheinen: das stereoskopische Sehen erzeugt in diesem Fall nur darum einen so lebhaften Glanz, weil es mehr als jedes andere Hülfsmittel jene räumliche Trennung hervorruft, während die Grundbedignung des Glanzes, das gleichzeitige Sehen des Objectes und des Spiegelbildes, erhalten bleibt.

Bei dem Glanze, den man durch Combination zweier verschiedener Farben oder von Weiss und Schwarz im Stereoskope erhält, sind die Bedingungen wesentlich dieselben wie beim letzterwähnten Versuch. Beide Augen sehen hier wie dort verschiedene Farben oder verschiedene Helligkeiten. Ein und derselbe Gegenstand kann aber nur dann beiden Augen in verschiedener Farbe oder sehr verschiedener Helligkeit erscheinen, wenn das eine Auge in demselben ein Spiegelbild sieht, das dem andern Auge verdeckt ist. Die Erscheinung,

die wir auf diese Weise im Stereoskop den Augen darbieten, ist nicht eine völlig neue und nur durch diesen künstlichen Versuch realisirbare, sondern der stereoskopische Versuch wiederholt lediglich Bedingungen, die in der Natur uns schon häufig begegnet sind. Der stereoskopische Glanz verhält sich zum binokularen Glanz beim freien Sehen genau ebenso, wie das durch stereoskopische Combination zweier ebener Projectionen erzeugte Relief zu dem mit freien Augen binokular gesehenen Körper. Das binokulare Sehen befördert die Erscheinung des Glanzes ähnlich wie die Erscheinung der Körperlichkeit, ja es befördert die erstere durch die letztere, indem die Lebhaftigkeit des Glanzes von der Verlegung des Spiegelbildes hinter den spiegelnden Gegenstand abhängt. Das Stereoskop hat in beiden Fällen genau dieselbe Bedeutung: es ist hier wie dort das Instrument, welches uns ermöglicht, mittelst Flächenprojectionen die Bedingungen von Erscheinungen nachzuahmen, deren Vorkommen in der Natur auf der körperlichen Ausdehnung der Gegenstände und den verschiedenen Ansichten, die wir in Folge dessen bei naher Betrachtung mit jedem Auge von denselben gewinnen, beruht.

Der stereoskopische Glanz bedarf zu seinem Hervortreten der deutlichen Trennung der einzelnen jedem Auge gebotenen Farben oder Helligkeiten. Sobald die Wahrnehmung des einen Auges zum Uebergewicht kommt, so hört der Glanz auf, und es ist, als wenn beiden Augen die gleiche Farbe oder gleiche Helligkeit geboten werde. Ein derartiges Ueberwiegen aber veranlasst der Contrast.

Contrastirt die eine Farbe merklich lebhafter gegen den Grund als die andere, so verdrängt sie dieselbe. Der Glanz ist am lebhaftesten, wenn der Contrast beider Farben gegen ihren Grund stark und ungefähr gleich gross ist. Ausserdem wird der Glanz durch den gegenseitigen Contrast der beiden zu combinirenden Farben erhöht. Man combinire z. B. stereoskopisch Blau und Gelb. Macht man den Grund weiss, so verdrängt leicht Blau das Gelb vollständig, macht man den Grund schwarz, so verdrängt Gelb das Blau, macht man den Grund aber Grau, so erhält man einen lebhaften Glanz. Man muss also, wenn man den Grund auf beiden Seiten gleich nimmt, eine Farbe oder eine Helligkeit wählen, gegen welche die beiden zu Glanz zu combinirenden Farben ungefähr gleich stark contrastiren.

Man kann dasselbe auch erreichen, wenn man beiderseits einen verschiedenen Grund wählt, so aber, dass der Contrast mit dem Grund wieder auf beiden Seiten ungefähr gleich

lebhaft ist. Hierbei kommt aber schon der gegenseitige Contrast der zu combinirenden Farben in Betracht: wenn nämlich die Farben lebhafter contrastiren als der Grund, so geben jene Glanz und dieser nicht, wenn aber der Grund lebhafter contrastirt als die Farben, so giebt dieser Glanz und jene nicht. Es kann dabei das eine das andere durch Contrast überwiegen, auch wenn Farbenton und Helligkeit beider ganz gleich sind, es brauchen nur die zu combinirenden Objecte gegen ihren Grund scharf abgegrenzt zu sein, während dieser gleichmässig das übrige Sehfeld erfüllt, so kommen jene schon zum Uebergewicht. Man lege z. B. ein schwarzes Quadrat auf weissen Grund, ein gleich grosses weisses Quadrat auf schwarzen Grund und bringe beide zur Deckung. Sie erscheinen lebhaft glänzend, der Grund aber erscheint nicht glänzend, sondern nur beschattet.

Der Einfluss des gegenseitigen Contrastes der combinirten Farben oder Helligkeiten auf den Glanz ergiebt sich, wenn man unter sonst gleichen Bedingungen verschiedene Combinationen untersucht. Man findet so, dass, wenn die Farbentöne ähnlich sind, die Helligkeitsunterschiede bedeutend sein müssen, und dass, wenn die Helligkeiten gleich sind, die Farbenunterschiede beträchtlich sein müssen, um Glanz zu geben. So geben z. B. die stereoskopischen Combinationen von Violett und Roth, Roth und Gelb, Grün und Blau im Allgemeinen wenig oder gar keinen Glanz; aber man kann auch in diesen Fällen intensiven Glanz hervorrufen, wenn man die Farben sehr verschieden hell wählt, wenn man also entweder die eine Farbe verdunkelt, oder der andern etwas Weiss beimischt. Man kann auf diese Weise sogar Glanz durch Combination gleicher Farben hervorrufen, wenn man nur die Helligkeitsunterschiede derselben hinreichend gross macht.

Dieser gegenseitige Contrast der combinirten Farben ist aber keineswegs nothwendig zur Entstehung des Glanzes, er ist nur dann wesentlich, wenn der Contrast mit dem Grund nicht in Betracht kommt; ist aber dieser sehr bedeutend, so kann Glanz entstehen, wenn ein gegenseitiger Contrast in Wirklichkeit gar nicht vorhanden ist, wenn die zwei combinirten Farben sich vollkommen gleich sind. Man lege z. B. rechts auf schwarzen Grund einen blauen Papierstreifen, links auf grauen oder weissen Grund einen eben solchen. Nun bringe man durch Fixation eines ferner oder näher gelegenen Punktes die Streifen bis zur Berührung: es erscheint durch den Contrast mit dem Grund der dem rechten Auge angehörige Streifen sehr viel heller als der dem linken Auge angehörige

Streifen, und bringt man beide zur Deckung, so erhält man lebhaften Glanz. Man kann hier allerdings in gewissem Sinne auch sagen, der Glanz sei durch den gegenseitigen Contrast der beiden Streifen entstanden, aber dieser Contrast ist im vorliegenden Falle nicht ein directer, sondern erst durch den Contrast eines jeden Streifens mit seinem Grunde entstanden.

Der stereoskopische Glanz fordert somit immer zu seiner Entstehung Contrast der zu combinirenden Farben oder Helligkeiten. Dieser Contrast kann aber auf doppelte Weise entstehen: entweder unmittelbar dadurch, dass die combinirten Objecte mit einander contrastiren, oder mittelbar dadurch, dass jedes der combinirten Objecte in verschiedener Weise mit seinem Grund contrastirt. Eine dieser Bedingungen kann zur Hervorrufung des Glanzes genügen, in den meisten Fällen aber wirken beide zusammen. Der Contrast mit dem Grund endlich ist für die Erscheinung noch insbesondere deshalb von Wichtigkeit, wril nur dann Glanz entsteht, wenn beide Objecte ungefähr gleich stark durch diesen Contrast gehoben und dadurch der Wahrnehmung aufgedrängt werden.

Dies sind die Grundbedingungen des stereoskopischen Glanzes. Man sieht, dass sie in ihrem Endziel auf ein ähnliches Resultat hinauslaufen wie die Bedingungen, die wir für das Sehen des Glanzes mit freiem Auge festgestellt haben. Die erörterte Wirkung des Contrastes hat offenbar nur die Bedeutung, dass sie die zwei mit dem rechten und linken Auge gesehenen Objecte gleichzeitig der Wahrnehmung aufzwingt. Wir sind aber genöthigt, wenn in dieser Weise beiden Augen Objecte verschiedener Farbe und Helligkeit geboten werden, dieselben nach den allgemeinen Gesetzen des stereoskopischen Sehens zu beurtheilen, und so entsteht die binokulare Wahrnehmung eines glänzenden Gegenstandes.

2. Ueber den binokularen Contrast.

Es ist im Vorigen bereits mehrfach erwähnt worden, dass zwei beiden Augen dargebotene Farben oder Helligkeiten bei weitem nicht immer in der erörterten Weise zur Wahrnehmung von Glanz Veranlassung geben, sondern dass sehr häufig die Empfindung der einen Netzhaut dergestalt das Uebergewicht erlangt, dass sie die der andern vollständig oder nahezu vollständig verdrängt. Es lässt sich darthun, dass dieses Ueberwiegen der einen Netzhautempfindung über die andere immer durch Ursachen bedingt ist, die den Erscheinungen des Contrastes im monokularen Sehen analog sind.

Wir bezeichnen daher alle hierher gehörigen Phänomene als binokularen Contrast.

Die wesentliche Bedingung zur Entstehung des binokularen Contrastes ist aus den vorangegangenen Untersuchungen ersichtlich. Wir sehen, dass der stereoskopische Glanz und der binokulare Contrast in einem Wechselverhältnisse zu einander stehen: bei stereoskopischer Combination verschiedener Farben und Helligkeiten ist immer entweder Glanz oder Contrast vorhanden, ein Drittes aber giebt es nicht. Es zeigte sich nun, dass der stereoskopische Glanz die Bedingung einer annähernd gleichen Stärke der Wahrnehmung jedes einzelnen Auges verlangte, die Hebung zu gleicher Stärke wurde aber erzeugt theils durch den Contrast jedes einzelnen Objectes mit seinem Grund, theils durch den gegenseitigen Contrast der Objecte: je stärker dieser Contrast, um so lebhafter war auch der erzeugte Glanz. In allen Fällen nun, wo jene Bedingung gleicher Hebung durch den Contrast nicht realisirt ist, sondern wo das eine Object sich stärker als das andere zur Wahrnehmung drängt, da bringt das stärker gehobene Object das schwächere ganz oder nahezu zum Verschwinden.

Dies ist die erste und häufigste Form des binokularen Contrastes. Eine zweite Form, die dem monokularen Contraste näher steht, besteht darin, dass die Empfindung der einen Netzhaut die der andern in einer Weise modificirt, wie es dem allgemeinen Gesetz des Contrastes entspricht. Hier wird nicht die eine Wahrnehmung von der andern verdrängt, sondern sie wird nur durch dieselbe verändert, aber sie wird nicht so verändert, wie dies bei der gleich starken Hebung beider Wahrnehmungen geschieht, wo Glanz entsteht, sondern auch hier prävalirt die eine Wahrnehmung über die andere, aber nicht so, dass sie dieselbe scheinbar verdrängt, sondern so, dass sie durch den Contrast zu ihr merklich verändert wird.

Die erste Form des binokularen Contrastes, die Verdrängung durch Contrast, erhält man leicht, wenn man zwei Objecte binokular vereinigt, von denen die Farbe oder Helligkeit des einen durch Contrast bedeutend mehr gehoben wird als die des andern.

Die einfachste Methode, nach diesem Princip Verdrängung zu erhalten, ist die, dass man einen begrenzten farbigen Streifen mit seinem eigenen andersfarbigen Grunde zur Deckung bringt. Man lege z. B. ein gelbes Quadrat auf blauen Grund und bringe dasselbe mit seinem Grund zur binokularen Deckung: das Gelb wird durch die Beimischung von Blau im anderen

Auge nicht merklich verändert. Man lege ferner zwei gelbe Quadrate auf blauen Grund und erzeuge von denselben Doppelbilder; zwei dieser Doppelbilder lasse man zusammenfallen, während man die andern beiden getrennt erhält. Man hat dann in der Mitte eiu Quadrat von binokularem Gelb, und rechts und links ein gelbes Quadrat, das im andern Auge blauer Grund deckt: hier erscheint nun das binokulare Gelb merklich gesättigter als das Gelb, das mit Blau zusammenfällt. Aber auch dieser Unterschied in der Sättigung der Farbe ist nur ein solcher, der sich auf die gleichzeitige Vergleichung bezieht. Schliesst man abwechselnd das eine Auge und öffnet es wieder, so ist man nicht im Stande zu sagen, ob das monokular betrachtete Gelb dem binokularen Gelb oder dem Gelb, das mit blauem Grund zusammenfällt, gleich ist. Auch der Unterschied zwischen diesen beiden beruht somit lediglich auf einem simultanen Contrast und nicht auf scharf ausgeprägten Verschiedenheiten, die sich noch in der Erinnerung zur Vergleichung benutzen lassen.

Man kann ferner Verdrängung der einen Farbe durch die andere dadurch erzielen, dass man den Contrast beider gegen ihren Grund von verschiedener Stärke wählt. Nimmt man zwei begrenzte farbige Streifen von gleicher Grösse, so lässt sich bei binokularer Vereinigung derselben, je nach dem Grund, auf dem man vereinigt, Verdrängung entweder der einen oder der anderen Farbe erzielen. Hierbei stellt es sich zugleich heraus, dass, wenn man den Grund beiderseits verschieden wählt, diese Verschiedenheit aber durch binokulare Vereinigung wieder ausgleicht, trotzdem der Contrast zu dem Grunde ganz so bleibt, wie es dem Verhältniss der Farbe zu ihrem Grunde im monokularen Sehen jederseits entspricht.

Die letzterwähnte Unabhängigkeit des binokularen Contrastes von der binokularen Ausgleichung der Unterschiede des Grundes lässt sich durch folgenden Versuch nachweisen. Man lege neben einander ein schwarzes und ein weisses oder ein graues Quadrat von gleicher Grösse und bringe auf jedes einen blauen Papierstreifen; man lege diesen aber nicht auf entsprechende Stellen beider Quadrate, sondern den einen mehr nach aussen, den andern mehr nach innen, so dass, wenn sich die Quadrate binokular decken, die Streifen nicht gleichfalls zusammenfallen, sondern neben einander gelegen sind. Bringt man nun die Quadrate zur Deckung, so erscheint das vereinigte Feld lebhaft graphitglänzend, und auf demselben sieht man einen hellblauen und einen dunkelblauen Streifen; der erstere entspricht dem Auge mit dem schwarzen

Grund, der letztere dem Auge mit dem weissen oder grauen Grund. Man sieht also hier auch noch im binokularen Bilde die Contrastunterschiede, die durch die Verschiedenheit des Grundes entstehen, obgleich diese Verschiedenheit selber durch die binokulare Deckung verschwunden ist. Dieser Versuch ist daher sehr geeignet, um zu beweisen, dass beim binokularen Sehen die auf jedes einzelne Auge stattfindenden Eindrücke getrennt zur Wahrnehmung gelangen.

Der Einfluss des Contrastes der Farben mit ihrem Grund auf ihre binokulare Verdrängung ist sehr empfindlich. Man kann hier abwechselnd bei denselben Farben Glanz oder Verdrängung der einen und der andern Farbe erhalten, wenn man nur ganz geringfügige Veränderungen mit der Helligkeit des Grundes vornimmt. Schon eine leise Veränderung der Beschattung hat oft diesen Erfolg. Bringt man z. B. einen gelben und blauen Streifen zur binokularen Deckung, so verdrängt Blau das Gelb, wenn man die Streifen auf weissem Grund anbringt und den Versuch im Tageslicht anstellt, es verdrängt hingegen Gelb das Blau, wenn man den Versuch in der Dämmerung macht; Glanz endlich entsteht nur bei einer mässigen Beschattung, in der beide Farben gleich stark gehoben werden. Dasselbe Resultat wie durch den Wechsel der Beleuchtung erhält man, wenn man unmittelbar den Grund zuerst weiss, dann schwarz und zuletzt grau wählt: bei weissem Grund wird Gelb, bei schwarzem Grund Blau verdrängt, und bei grauem Grund entsteht Glanz.

Ebenso verhalten sich die Combinationen anderer Farben. Bringt man Roth und Grün auf weissem Grunde zur Deckung, so überwiegt Roth, auf schwarzem Grunde überwiegt Grün. Bei Roth und Gelb auf weissem Grunde überwiegt Roth, auf schwarzem Grunde Gelb. Glanz entsteht in beiden Fällen auf mässig beschattetem oder grauem Grunde. Selbst wenn man die zu combinirenden Farben so wählt, dass sie sowohl auf hellem als auf dunklem Grunde Glanz geben, überwiegt beide Male in dem Glanz eine der Farben, und der Glanz ist dann zugleich minder lebhaft; denn der lebhafteste Glanz entsteht immer erst, wenn keine Farbe sich stärker hervordrängt. So geben z. B. Roth und Blau sowohl auf weissem wie auf schwarzem Grunde einen dunkeln Sammtglanz, auf weissem Grunde überwiegt Blau, auf schwarzem Grunde Roth, und von der andern Farbe bemerkt man jedesmal nur einen schwachen Schimmer.

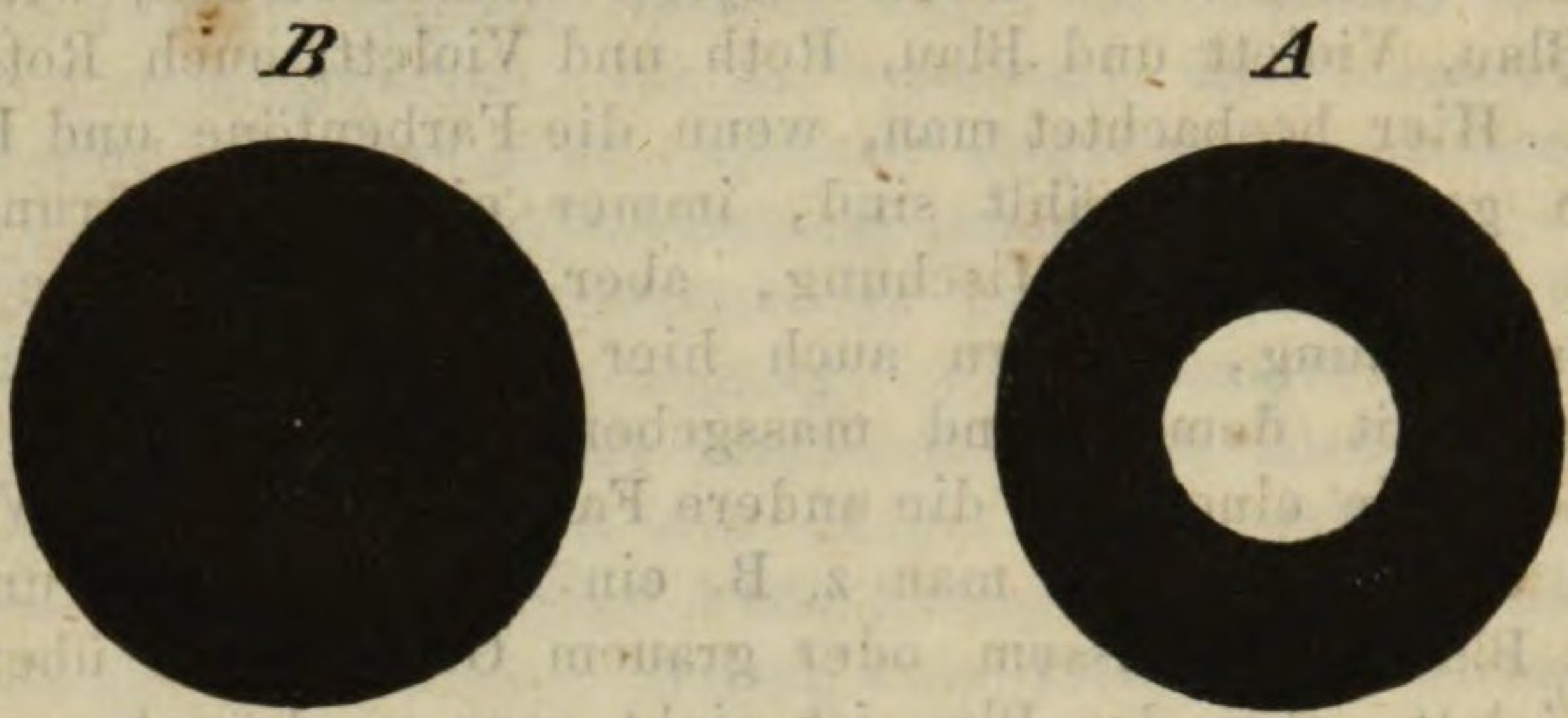
Die Verdrängung durch den Contrast ist um so vollständiger, je grösser die subjective Verschiedenheit der zu ver-

einigenden Farben ist. So verdrängen sich Gelb und Blau, Grün und Gelb, Grün und Roth, Roth und Blau, Violett und Gelb meistens gänzlich, so dass man nur noch die verdrängende Farbe zu sehen glaubt. Anders verhält es sich, wenn sich die combinirten Farben subjectiv näher stehen, wie Grün und Blau, Violett und Blau, Roth und Violett, auch Roth und Gelb. Hier beobachtet man, wenn die Farbentöne und Helligkeiten geeignet gewählt sind, immer eine Veränderung der Farbe im Sinn der Mischung, aber keineswegs eine reine Farbenmischung, sondern auch hier bleibt immer noch der Contrast mit dem Grund massgebend und veranlasst, dass entweder die eine oder die andere Farbe mehr in den Vordergrund tritt. Vereinigt man z. B. ein dunkles Violett und ein helles Blau auf weissem oder grauem Grunde, so überwiegt das Violett, aber das Blau ist nicht ganz verdrängt, sondern das gesehene Violett nähert sich dem Indigblau. Dieselben Farben auf schwarzem Grunde geben ein fast ganz reines Blau, mit nur wenig Beimischung von Violett. In allen diesen Fällen von Mischung sich sehr nahe stehender Farben beobachtet man, wie schon früher bemerkt wurde, keinen oder nur einen sehr schwachen Glanz; zugleich ist die gesehene Mischfarbe meistens viel dunkler als jede der combinirten Farben: dies ist am auffallendsten bei der Vereinigung von Grün und Blau; wenn man von beiden ziemlich helle Farbentöne wählt, so geht nichts desto weniger aus der Vereinigung entweder ein sehr dunkles Grün oder ein sehr dunkles Blau hervor.

Auch hier richtet sich, wie man sieht, die Stärke des Contrastes der Farben nicht nach ihrer Stellung im Spektrum, sondern lediglich nach jener subjectiven Verschiedenheit, die wir schon auf die Entstehung des Glanzes von so grossem Einflusse fanden. So kommt es, dass selbst Schwarz und Weiss, die nur Helligkeitsunterschiede sind, zu den stark contrastirenden und daher stark verdrängenden Combinationen gehören. Man biete dem einen Auge eine durchaus schwarze Kreisfläche, dem andern eine Kreisfläche von gleicher Grösse, deren peripherischer Ring schwarz, und deren Centrum weiss ist, Fig. 1. Bei der Vereinigung glaubt man blos die Figur *A* vor sich zu haben, d. h. der centrale weisse Kreis von *A* vereinigt sich nicht mit dem entsprechenden Stück von *B* zu Grau oder zu Glanz, sondern er verdrängt dasselbe durch Contrast vollständig. Wir haben in diesem Versuch einen Fall von Contrast mit dem eigenen Grunde vor uns, wie er oben schon an einem Versuchsbeispiel erläutert worden ist.

Der Contrast tritt aber gleich lebhaft auf, wenn man den Grund, auf dem die kleine weisse Kreisfläche liegt, von beliebiger anderer Farbe wählt: das Schwarz der Figur *B*,

Fig. 1.



das von dem weissen Kreis gedeckt wird, ist in allen Fällen, wo man diesen kleiner als den schwarzen Kreis nimmt, vollkommen ausgelöscht.

Derselbe Versuch lässt sich auf folgende Weise modificiren. Man nehme einen weissen und schwarzen Streifen von gleicher Grösse, *A* und *B* Figur 2, und lege dieselben auf grauen oder weissen Grund: vereinigt geben sie lebhaften Graphitglanz. Nun bringe man in *A* eine Zeichnung mit schwarzen Linien an, wie dies in *A'* ausgeführt ist: vereinigt man *A'*

Fig. 2.



und *B*, so verdrängt *A'* vollständig den schwarzen Streifen *B*. Diese Verdrängung geschieht hier, wie im vorigen Versuch, durch den Contrast der binokular schwarz gesehenen Theile der Zeichnung gegen die Theile, welche nur dem einen Auge schwarz erscheinen.

Es gehört hierher noch folgender Versuch. Man combinire zwei farbige Papierstreifen auf andersfarbigem Grunde, wobei der eine breiter ist als der andere: es verdrängt dann

die Farbe des schmäleren Streifens die des breiteren wo beide sich decken und man Glanz erwarten sollte. Man combinire z. B. Gelb und Violett auf weissem Grunde. Macht man beide Streifen gleich gross und lässt sie sich vollständig decken, so erhält man Glanz. Macht man aber den gelben Streifen etwas breiter, so dass der weisse Grund noch zum Theil von demselben gedeckt wird, so verschwindet an der Stelle, wo die Streifen sich decken, der Glanz, und das Violett überwiegt. Macht man umgekehrt den violetten Streifen breiter, so überwiegt an der Stelle der Deckung das Gelb.

Complicirter aber im Wesentlichen ähnlich gestaltet sich der Versuch, wenn man beide Streifen gleich gross macht, aber die Convergenz so stellt, dass sie nicht vollständig zur Deckung kommen. Auch hier wird an der Stelle, wo beide Streifen sich decken, der Glanz ausgelöscht und die eine Farbe kommt zum Uebergewicht; aber welche von beiden, dies ist in diesem Fall nicht wie im vorigen von vornherein bestimmt. Sind beide Farben von verschiedener Helligkeit, so verdrängt auf hellem Grunde die hellere Farbe immer die dunklere, auf dunklem Grunde aber die dunklere Farbe die hellere. Stehen sich die Farben aber an Helligkeit ziemlich gleich, so beobachtet man einen Wechsel in der Verdrängung, indem an der Deckungsstelle bald die eine, bald die andere Farbe mehr vortritt. So wird z. B. bei der Combination von Gelb und Blau auf weissem Grunde das Blau verdrängt, bei der Combination derselben Farben auf schwarzem Grunde wird das Gelb verdrängt; bei der Combination von Grün und Blau überwiegt bald das eine bald das andere. Sind sich ferner die Farben subjectiv ähnlich, so ist die Verdrängung keine vollständige, sondern die überwiegende Farbe behält einen Farbenschimmer von der verdrängten. Was bei allen diesen Versuchen noch auffallend hervortritt, ist, dass die verdrängte Farbe überall da, wo sie von der andern nicht gedeckt wird, vollkommen durchsichtig erscheint, vorzüglich in der Nähe der Deckungsstelle, so dass hier unmittelbar der Grund, mit dem sie sich binokular deckt, durch sie hindurchgesehen wird; weiter von der Deckungsstelle weg hört allmälig die Durchsichtigkeit auf, und es tritt die Farbe selber wieder über den Grund hervor. Diese Durchsichtigkeit ist nur bei der verdrängten Farbe vorhanden, die überwiegende Farbe erscheint an der Stelle, wo sie sich mit dem Grunde binokular deckt, ebenso gesättigt und undurchsichtig wie an der Deckungsstelle mit der verdrängten Farbe oder wie bei monokularer Betrachtung. Es erklärt sich hieraus die mit den

Gesetzen des binokularen Contrastes scheinbar in Widerspruch stehende Thatsache, dass die helle Farbe auf dunklem Grunde und die dunkle Farbe auf hellem Grunde verdrängt wird. Wir können nur dann die Vorstellung des Sehens der einen Farbe durch die andere erhalten, wenn beide von ziemlich verschiedener Helligkeit sind, wir können einen dunklen Grund nur durch eine helle Farbe, und einen hellen Grund nur durch eine dunkle Farbe hindurchsehen. Wenn wir also z. B. ein helles Gelb und ein dunkles Blau auf weissem Grund combiniren, so könuen wir den weissen Grund nicht durch das Gelb hindurchsehen, weil beide sich an Helligkeit zu nahe stehen, als dass wir sie in directes und durchgesehenes Licht zu trennen vermöchten, wohl aber können wir den weissen Grund durch das Blau, oder den schwarzen Grund durch das Gelb hindurchsehen. Die Verdrängung, die in diesen Versuchen hervortritt, ist also eine ganz andere, als die oben erörterte Verdrängung durch Contrast, die auf dem ungleichen Contrast jeder Farbe mit ihrem Grunde beruht. Während jene erste Form der Verdrängung zur nothwendigen Bedingung nur jenen ungleichen Contrast beider Farben mit ihrem Grunde hatte, während die Farben selber unter Umständen sich sehr ähnlich sein konnten, sehen wir hier als wesentliche Bedingung den Contrast der beiden Farben selber gegeben: wir können daher diese zweite Form gegenüber der Verdrängung durch Contrast mit dem Grunde als Verdrängung durch Eigencontrast bezeichnen. Die Verdrängung durch Eigencontrast entsteht also, wenn die combinirten Farben oder Helligkeiten mit einander contrastiren, und es wird bei ihr immer diejenige Farbe oder Helligkeit verdrängt, die im stärksten Contrast mit dem Grunde steht. Es tritt aber diese Art der Verdrängung nur dann auf, wenn die combinirten Objecte sich nicht vollständig decken, sondern wenn ein Theil mit dem Grunde zusammenfällt. Auch bei dieser Verdrängung ist somit die Beschaffenheit des Grundes von Einfluss, aber von einem secundären Einfluss, der erst zur Wirksamkeit gelangt, wenn ein erheblicher Eigencontrast vorhanden ist. Dadurch kommt es endlich, dass hier der Einfluss des Grundes von einer der gewöhnlichen gerade entgegengesetzten Art ist.

Es schliesst sich die Verdrängung durch Eigencontrast in ihrer ursächlichen Entstehung unmittelbar an den stereoskopischen Glanz an. Der stereoskopische Glanz erfordert zu seinem ungestörten Hervortreten vollständige Deckung und Contrast der combinirten Objecte. Ist beides vorhanden, und ist der

verschiedene Contrast mit dem Grund nicht von merklicher Einwirkung, so entsteht unter allen Umständen Glanz. Man kann diesen Glanz häufig schon dadurch zum Verschwinden bringen, dass man die vollständige Deckung der Objecte aufhebt. Wie man beim Glanz das eine Object durch das andere zu sehen glaubte, so glaubt man jetzt, durch eines der Objecte theils ein Stück des Grundes, theils ein Stück vom andern Object zu sehen, und es erscheint hierbei naturgemäss dasjenige Object durchsichtig, das mit dem Grund am meisten contrastirt. Der Glanz aber wird bei diesem Versuch aufgehoben, weil — wie wir bei der Untersuchung des Glanzes sahen — dieser immer verschwindet, wenn das Spiegelbild sich über das spiegelnde Object ausdehnt.

Auf den bisher betrachteten Thatsachen beruht ein Phänomen, das von allen Erscheinungen, die bei der binokularen Combination von Farben auftreten, schon am längsten bekannt ist, ohne bis jetzt eine genügende Erklärung gefunden zu haben. Es ist dies der sogenannte Wettstreit der Sehfelder. Man versteht darunter das abwechselnde Verdrängen der Gesichtsempfindung des einen Auges durch die Gesichtsempfindung des andern. Der hierdurch bedingte Wechsel der Empfindungen tritt scheinbar so ohne alle äussere Ursache auf, dass es nahe lag, dabei an einen Einfluss der Vorstellungen oder der Aufmerksamkeit des Beobachters zu denken. Ein solcher Einfluss ist in der That von fast allen Beobachtern statuirt worden: man glaubte, die Aufmerksamkeit auf irgend eine der zwei Empfindungen vermöge die andere zu verdrängen, und ein absichtliches oder unwillkürliches Ueberspringen der Aufmerksamkeit bedinge dann den Wechsel der Empfindung. Von Fechner ist dagegen neuerdings nachgewiesen worden, dass ein solcher Einfluss der Aufmerksamkeit nicht besteht, dass derselbe jedenfalls für die Art des Wechsels gänzlich bedeutungslos ist. Wenn überhaupt die Aufmerksamkeit die Wettstreitsphänomene beeinflusst, so geschieht dies nach Fechner's Versuchen nur insofern, als dieselbe veranlasst, dass überhaupt eine Veränderung geschieht, ohne aber die Richtung dieser Veränderung zu bestimmen.*) Man kann sich leicht überzeugen, dass in sehr vielen Fällen der Wettstreit vollkommen unwillkürlich auftritt; man bekommt oft den Wechsel, wenn man das combinirte Bild anstarrt, ohne

*) Fechner, Ueber einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Abhandlungen der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, 1860, S. 401.

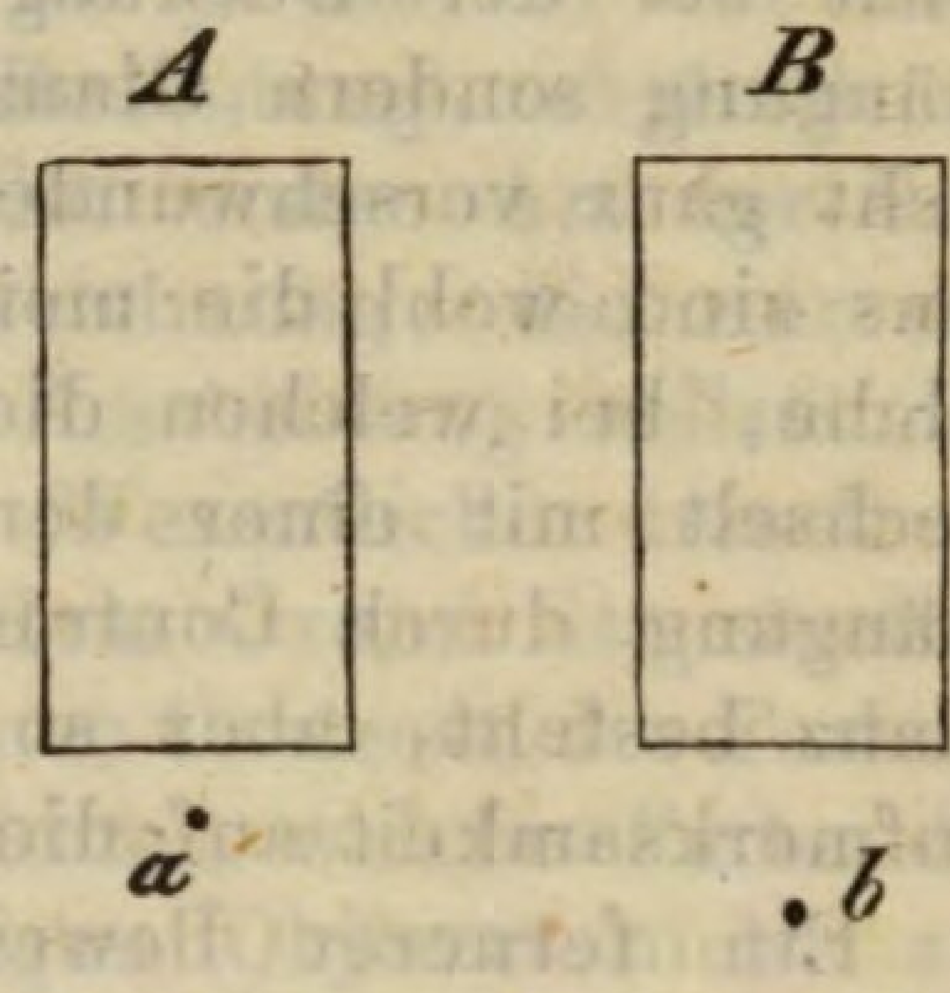
an ihn zu denken, ohne überhaupt irgend eine Aufmerksamkeit auf die Gesichtsempfindung zu richten. In den Fällen aber, wo die Aufmerksamkeit wirklich von einem sichtlichen Einflusse ist, da gelangt sie zu diesem wahrscheinlich immer nur auf mittelbarem Wege. Ein Moment, das nachweisbar sehr häufig in Folge der Aufmerksamkeit in Wirkung tritt, und das, wie ebenfalls nachgewiesen werden kann, direct auf den Wettstreit von Einfluss ist, sind die Augenbewegungen. Man kann leicht beobachten, dass eine plötzliche Anspannung der Aufmerksamkeit in diesen Versuchen sehr oft, vielleicht fast immer, von einer schwachen zuckenden Bewegung der Augen begleitet ist. Im Moment wo diese Bewegung geschieht, tritt der Wechsel im Sehfelde ein und bleibt entweder einige Zeit, oft so lange bis eine neue Aufmerksamkeitsspannung erfolgt, oder er vergeht sehr rasch wieder und macht dem früheren Eindrucke Platz. Wir werden nun weiter unten zeigen, wie die Augenbewegungen bei dem Wettstreit zusammengesetzter Wahrnehmungen in Rücksicht fallen, indem sie immer diejenige Wahrnehmung zum Uebergewicht bringen, deren Begrenzungen der Richtung der Augenbewegungen entsprechend sind. Auch hier, wo es sich um den Wettstreit einfach begrenzter Objecte von verschiedener Farbe oder Helligkeit handelt, lässt ein solcher Einfluss sich nachweisen, und die nähere Beschaffenheit desselben ist in den obigen Erörterungen über die Verdrängung durch Contrast sehon bestimmt.

Der Wettstreit der Sehfelder ist nämlich nichts anderes als ein Wechsel zwischen der Verdrängung durch Contrast mit dem Grund und der Verdrängung durch Eigencontrast. Beide Verdrängungen sind, wie wir sahen, entgegengesetzter Art: bei der einen dominirt diejenige Empfindung, die am lebhaftesten mit dem Grund contrastirt, bei der andern dominirt umgekehrt diejenige Empfindung, die am wenigsten lebhaft mit dem Grund contrastirt. Die Verdrängung durch Contrast mit dem Grund entsteht, wenn beide Objecte sich vollständig decken, die Verdrängung durch Eigencontrast tritt auf, wenn diese Deckung nur eine theilweise ist. Der eigentliche Grund für den Wettstreit liegt daher in der Bewegung des Auges: sobald die Augen eine geringe Aenderung der Convergenz machen, wodurch die vorhandene Deckung der Objecte aufgehoben oder die vorher nicht vorhandene bewirkt wird, so tritt der Wechsel der Empfindungen ein.

Der Beweis für diese Erklärung des Wettstreites der Sehfelder liegt in Folgendem. Zunächst lässt sich nachweisen, dass der Wechsel im Sehfeld immer von der Bewegung des

Auges abhängig ist. Man nehme zwei gleich grosse Streifen farbigen Papiers, A und B Fig. 3, der Streifen A sei dunkelblau, der Streifen B hellgelb, und beide lege man auf weissen Grund. Es verdrängt dann, wenn der Contrast mit dem Grund zur Wirksamkeit kommt, der blaue den gelben, wenn der Eigencontrast zur Wirksamkeit kommt, der gelbe den blauen Streifen. Man bekommt daher Wettstreit der Sehfelder. Man bringe nun unter jedem Streifen, der Mitte seiner Grundlinie entsprechend, einen feinen Punkt an, a und b, lege aber den Punkt b etwas tiefer als a, damit beide, wenn A und B vereinigt werden, nicht gleichfalls zur Deckung kommen, sondern über einander gelegen sind. Vereinigt man jetzt die beiden Streifen, so hat man an den über einander gelegenen Punkten einen sicheren Massstab für jede Schwankung der Sehaxen. Man bemerkt bei diesem Versuch sogleich, wie unmöglich es ist, eine längere Zeit hindurch vollkommen fest zu fixiren. Sehr bald gerathen die Sehaxen in zitternde Schwankungen, die sich an entsprechenden Bewegungen der beiden Punkte gegen einander verrathen, und immer hat sich nach kürzerer oder längerer Zeit die Convergenzstellung so geändert, dass die Objecte sich nicht mehr vollständig decken können. Corrigirt man dann die Augenstellung wieder, so beginnt derselbe Verlauf von Neuem. Durch ähnlich angebrachte Punkte zur einen Seite jedes Streifens überzeugt man sich ebenso von den Schwankungen in verticaler Richtung, die durch diese Aenderungen der Kopfstellung veranlasst werden. — Man beobachtet bei diesem Versuch, dass, so lange die Augenstellung vollkommen ungeändert bleibt, auch kein Wechsel im Sehfelde eintritt, selbst geringgradigere Schwankungen der Sehaxen führen diesen meistens noch nicht herbei, dagegen ist er augenblicklich da, wenn die Convergenzänderung erheblicher ist, oder wenn, durch eine Schwankung des Kopfes, eine Verschiebung in verticaler Richtung erfolgt. Es ergiebt sich zugleich bei diesem Versuch, dass die mit dem Grund contrastirende Farbe, also im vorliegenden Fall Blau, die verdrängende ist, wenn die Streifen sich vollständig decken, d. h. wenn sowohl die horizontalen als die verticalen Merkpunkte die gleiche Richtung haben, dass hingegen die nicht mit dem Grund contrastirende Farbe die verdrängende ist,

Fig. 3.



wenn die vollständige Deckung aufgehoben wurde, wenn also die Merkpunkte schräg gegen einander verschoben sind. Zu dem hier beispielsweise gebrachten Versuch führe ich noch an, dass man bei starker Beleuchtung beobachten oder das Gelb sehr hell und das Blau sehr dunkel wählen muss, weil sonst bei der Deckung der Streifen keine vollständige Verdrängung sondern Glanz entsteht, indem das Blau durch das nicht ganz verschwundene Gelb hindurch gesehen wird. Uebrigens sind wohl die meisten Fälle von Wettstreit der Sehfelder solche, bei welchen die Verdrängung durch Eigencontrast abwechselt mit einer derartigen nicht ganz vollständigen Verdrängung durch Contrast mit dem Grund, bei welcher noch Glanz besteht, aber so schwach ist, dass er ohne besondere Aufmerksamkeit auf diese Phänomene der Beobachtung entgeht.

Ein fernerer Beweis für die gegebene Erklärung liegt darin, dass der Wettstreit nur entsteht, wenn man den Versuch so einrichtet, dass die vollständige und unvollständige Deckung der Objecte leicht abwechseln kann. Macht man das eine Object beträchtlich kleiner, so dass es auch noch bei Schwankungen der Sehaxen das andere deckt, so tritt kein Wettsreit auf. In diesem Fall bildet bei der Deckung das grössere Object den Grund des kleineren, und wird daher von diesem an der Deckungsstelle unter allen Umständen verdrängt. Aendert man nun aber die Convergenz beträchtlicher, so dass noch ein Theil des kleineren Objectes ausserhalb des grösseren zu liegen kommt, so tritt alsbald die Verdrängung durch Eigencontrast auf: es verdrängt diejenige Farbe die andere, welche am wenigsten mit dem gemeinsamen Grund beider Objecte contrastirt. Diese Farbe kann hier dieselbe sein wie die anfänglich verdrängende oder die andere. Man nehme z. B. einen hellgelben und einen dunkelblauen Streifen auf weissem Grunde: ist der gelbe Streifen der kleinere, so verdrängt er das Blau nicht nur, wenn er ganz von demselben umschlossen ist, sondern auch, wenn er nur einen Theil desselben am Rande deckt; ist aber der blaue Streifen der kleinere, so verdrängt er das Gelb, wenn er von demselben umschlossen ist, er wird aber von dem Gelb verdrängt, wenn er blos den Rand deckt. Der Grund liegt darin, dass Gelb mit Weiss weniger contrastirt als Blau, und daher, wo auf weissem Grund der Eigencontrast in Rücksicht fällt, immer das Blau verdrängt. Nimmt man schwarzen Grund, so verhält sich die Sache gerade umgekehrt.

Es ergiebt sich somit als Resultat aller Versuche, dass die Verdrängung durch Eigencontrast immer eintritt, wenn

durch Abweichung der Sehaxen die vollständige Deckung der combinirten Objecte aufgehoben wird, wobei dasjenige Object, das mit dem gemeinsamen Grund am wenigsten contrastirt, zum Uebergewicht kommt. Es ist mit Rücksicht auf diese Entstehungsweise die Bezeichnung dieser Art der Verdrängung allerdings eine mangelhafte, denn es ist ja bei ihr der Contrast mit dem Grund ebenfalls von Bedeutung, obgleich er den umgekehrten Erfolg hat als bei der ersten Art der Verdrängung. Wenn aber auch jene Bezeichnung, die nur der Kürze halber gewählt ist, nicht die Erscheinung vollständig deckt, so trifft sie wenigstens das Wesentliche derselben. Die Verdrängung durch Contrast mit dem Grund ist nämlich an sich ganz unabhängig von dem eigenen Contrast der Farben, erst der Contrast mit dem Grund bestimmt, welche Farbe die verdrängende ist. Bringen wir dagegen Objecte nicht zur vollständigen Deckung, so kommt zunächst der eigene Contrast der neben einander gelegenen Farbenstreifen zur Wirkung, und wenn dieser nicht lebhaft ist, so entsteht überhaupt keine Verdrängung. Hier ist daher ein lebhafter Eigencontrast, aber eine nicht zu grosse Verschiedenheit in der Lebhaftigkeit des Contrastes mit dem Grunde gefordert. Durch die erste wie durch die zweite Vernachlässigung wird das Gesetzliche der Erscheinung gestört: macht man den Eigencontrast zu gering, so wird die Verdrängung eine zweideutige, indem sie zwischen beiden Farben wechselt, und es treten die später zu beschreibenden Mischungsphänomene auf; überschreitet aber die Verschiedenheit im Contrast mit dem Grund eine gewisse Grenze, so wird auch hier die stärker contrastirende Farbe zur verdrängenden, es tritt Verdrängung durch Contrast mit dem Grund auf. In dem oben angeführten Beispiel von Blau und Gelb auf weissem Grund kann man den ersteren Erfolg herbeiführen, wenn man das Bild ziemlich hell wählt, den zweiten Erfolg, wenn man das Blau dunkel nimmt, aber dem Gelb viel Weiss beimischt, so dass es dem Grund sehr ähnlich wird. Man darf daher keineswegs erwarten, bei der unvollständigen Deckung der combinirten Objecte immer Verdrängung durch Eigencontrast zu beobachten: diese tritt nur auf, wenn die Bedingungen in der angegebenen Weise günstig gewählt sind.

Bei den zuletzt erörterten Verdrängungserscheinungen kann es auf den ersten Blick auffallend sein, dass das zum Uebergewicht gelangende Object in seiner ganzen Ausdehnung das andere Object verdrängt. Man könnte vielleicht erwarten, dass, wo in grösserer Breite die Objecte sich decken, nur an

den Rändern der Eigencontrast zur Wirkung gelangen dürfte, während weiter über die Fläche verbreitet sich der Contrast mit dem Grund geltend machen und daher die umgekehrte Verdrängung eintreten sollte. Wo der Eigencontrast so schwach ist, dass er nur eben noch Verdrängung veranlasst, beobachtet man in der That etwas dem Entsprechendes. Man sieht dann die in einander ragenden Ränder beider Objecte in der ihnen eigenen Farbe, während an den übrigen Deckungsstellen dasjenige Object überwiegt, das durch Eigencontrast am meisten gehoben ist. Wenn man jedoch die Bedingungen günstig wählt, so tritt hiervon nichts auf, sondern das verdrängende Object ist über die ganze Strecke der Deckung gleichmässig und hat denselben Farbenton wie da, wo es den Grund deckt. Man hat diese Thatsache, die schon mehreren Beobachtern auffiel, bisweilen auf eine nicht näher definirte Continuitätswirkung zurückgeführt. Um den Grund der Erscheinung schärfer auffassen zu können, müssen wir noch etwas tiefer in das Wesen dieser Verdrängungserscheinungen eingehen.

Es lassen sich die Verdrängungserscheinungen nicht aus irgend welchen physischen Momenten ableiten. Die physische Intensität zweier Eindrücke kann genau gleich gross sein, und doch kann der eine Eindruck den andern verdrängen, ja der verdrängende Eindruck kann sogar der weit schwächere sein. Bei der ersten Form der Verdrängung, welche die einfachere ist, kommt stets derjenige Eindruck zum Uebergewicht, der durch den Contrast mit seinem Grund am meisten gehoben erscheint. Man müsste daher, um an der Ableitung aus physischen Momenten noch festzuhalten, die Annahme machen, dass der unmittelbare physische Eindruck mitbestimmt werde durch die Eindrücke, welche auf umgebende Netzhautpartien geschehen. Auch diese letzte Ausflucht muss aber als ein für allemal widerlegt betrachtet werden durch die Untersuchungen von Helmholtz über den monokularen Contrast, auf deren Resultate wir uns hier ohne Beibringung neuer Beweise beziehen können.*) Die Verdrängung durch Contrast mit dem Grund ist eine unmittelbare Folge des monokularen Contrastes: wird durch diesen das mit dem einen Auge gesehene Object erheblich stärker gehoben als das mit dem anderen Auge gesehene, so bringt es dieses zum Verschwinden. Wir müssen, um diese Verdrängung zu verstehen, zu der durch die früheren Untersuchungen schon gebotenen Annahme zurückkehren, dass die Wahrnehmungen beider Augen ursprüng-

*) Helmholtz, Physiolog. Optik, S. 388 u. f.

lich unabhängig und getrennt von einander sind, und erst in Folge weiterer psychischer Processe mit einander combinirt werden können. Dies vorausgesetzt haben wir nun bei der Verdrängung durch Contrast mit dem Grund nur einen speciellen Fall des allgemeinen psychischen Gesetzes vor uns, dass, wenn zwei Eindrücke, die sich nicht in eine Vorstellung vereinigen lassen, auf das Bewusstsein einwirken, nur der eine derselben in der Zeiteinheit zur Auffassung gelangt. Ohne dieses Gesetz der Einheit der Vorstellung, das früher schon häufig ohne nähere Begründung behauptet, zuerst aber von den Astronomen bei dem Versuch der gleichzeitigen Auffassung von Schall- und Lichteindrücken experimentell erwiesen wurde, würden diese Verdrängungserscheinungen vollkommen unverständlich sein, sie geben daher selbst ein starkes Beweismittel für jenes Gesetz ab. Sie bilden aber den besonderen Fall des Gesetzes, wo der eine der sich zur Perception drängenden Eindrücke so sehr über den andern überwiegt, dass er bleibend zur alleinigen Auffassung gelangt.

Verschieden davon verhält sich die Verdrängung durch Eigencontrast. Sie kommt vor, wenn die combinirten Objecte mit einem Theil einander decken und mit einem Theil den gemeinsamen Grund decken. Durch die nur theilweise Deckung wird die Verdrängung durch Contrast mit dem Grund weniger leicht möglich. Wir empfangen deutlich den Eindruck beider Objecte von den Stellen aus, wo sie sich nicht decken und sind daher ziemlich gleich geneigt, jeden Eindruck sich über die Deckungsstelle fortsetzen zu lassen. Wenn daher hier noch in Folge der ungleichen Hebung durch Contrast mit dem Grund der stärkere den schwächeren Eindruck an der Deckungsstelle verdrängen soll, so muss jene Ungleichheit sehr bedeutend sein, der zu verdrängende Eindruck muss schon dem Grund sehr ähnlich sein: wenn aber dies der Fall ist, so tritt, wie wir sehen, in der That auch hier die erste Form der Verdrängung auf. Dagegen spielt bei der Verdrängung durch Eigencontrast die Vorstellung des Durchsichtigen eine wichtige Rolle. Wenn die zwei theilweise sich deckenden Objecte mit einander und auch mit dem Grund contrastiren, so aber, dass das eine dem Grund an Helligkeit nahe gleichkommt, das andere aber beträchtlich dunkler oder heller ist als der Grund, so erscheint das letztere an der Deckungsstelle durchsichtig. Wir haben hier wieder, da wo die Objecte sich nicht decken, deutlich die Vorstellung beider Eindrücke getrennt, wir sind dadurch im Stande, auch an der Deckungsstelle den combinirten Eindruck deutlich als combinirten zu

unterscheiden, wir beurtheilen denselben daher hier wieder so, wie wir ihn nach allen unseren Erfahrungen beurtheilen müssen, d. h. wir stellen uns vor, das eine Object durch das andere hindurch zu sehen, dieses wird gewissermassen zu einem farbigen Spiegel, an dem wir über der Farbe des Spiegelbildes die eigene Farbe vernachlässigen. Das Ganze ist eine Erscheinung stereoskopischer Spiegelung, wo wir mit dem einen Auge blos den Spiegel, mit dem andern Auge blos das gespiegelte Bild sehen. Warum aber ist das scheinbar spiegelnde Object immer dasjenige, welches von dem umgebenden Grund an Helligkeit sich am meisten unterscheidet, das scheinbar gespiegelte immer dasjenige, dessen Helligkeit dem Grunde am nächsten steht? Die einfache Antwort auf diese Frage scheint mir die, dass jenes Verhalten dem wirklichen Vorkommen bei weitem in der überwiegenden Anzahl von Fällen entspricht. Ein Spiegel spiegelt seine Umgebung, er kann nicht dunkles Licht reflectiren, wenn helles auf ihn fällt, oder umgekehrt. Wir werden daher, wo uns fast kein Anhaltspunkt zur Unterscheidung gegeben ist, immer urtheilen, dass dasjenige Object spiegelt, welches am stärksten gegen den umgebenden Grund contrastirt. Es ist noch hervorzuheben, dass man es hier mit einer wahren Spiegelung und nicht mit einer Glanzerscheinung zu thun hat, d. h. es wird an der Deckungsstelle das spiegelnde Object ganz übersehen, als wenn es nicht vorhanden wäre. Dass in dem vorliegenden Falle die Spiegelung nicht in Glanz übergeht, liegt jedenfalls in der unvollständigen Deckung begründet, denn man kann oft sogleich Glanz erhalten, wenn man die vollständige Deckung eintreten lässt. Die unvollständige Deckung kann nun auf zweierlei Weise das Auftreten der reinen Spiegelung begünstigen: erstens dadurch, dass der Rand des gespiegelten Objectes in dem spiegelnden scharf begrenzt erscheint, denn dies befördert die isolirte Auffassung des Spiegelbildes; zweitens dadurch, dass das scheinbar spiegelnde Object mit dem nicht spiegelnden Theil seiner Oberfläche in seiner eigenthümlichen Farbe erscheint, die nun zu dem spiegelnden Theil in Contrast tritt und dadurch die gespiegelte Farbe stärker hervorhebt. Dies scheinen die wesentlichen Ursachen zu sein, aus denen in den meisten Fällen bei unvollständiger Deckung der Objecte der Glanz verschwindet.

Der Zusammenhang der Verdrängung durch Eigencontrast mit der Vorstellung der Spiegelung giebt noch zu einer Reihe auffallender Phänomene Veranlassung, die wir kurz als Erscheinungen des Randcontrastes bezeichnen wollen. Es

sind dies Erscheinungen, die zum grössten Theil schon längere Zeit bekannt sind, für die man aber bis jetzt keine haltbare Erklärung aufzufinden vermochte.

Welcker hat zuerst einige hierher gehörige Versuche beschrieben.*) Wenn man ein in der einen Hälfte weisses, in der andern Hälfte schwarzes Papier zur theilweisen binokularen Deckung bringt, so mischen sich die Eindrücke nicht zu einem gleichmässigen Mittelton, sondern an der Grenze des durch zwei Retinen gesehenen Weiss herrscht das Schwarze vor, an der Grenze des durch zwei Retinen gesehenen Schwarz das Weisse, so dass man dort tiefes Schwarz, hier reines Weiss sieht, während in der Mitte allmäliger Uebergang stattfindet. Dasselbe findet statt bei der Combination verschieden farbiger Objecte. Wenn man ferner eine rothe Oblate auf weisses Papier legt, so wird, wenn man Doppeltsehen eintreten lässt, der weisse Grund ganz vernachlässigt, das Papier erscheint von zwei Oblaten vollständig verdeckt. Legt man aber die Oblate auf bedrucktes Papier, so scheinen ihre Doppelbilder fast über ihre ganze Fläche hin durchsichtig. Aus diesen und anderen Versuchen zieht Welcker den Schluss, dass, wenn correspondirende Netzhautstellen von verschiedenem Lichte getroffen werden, die Perception immer denjenigen Factor des Mischreizes bevorzugt, von welchem die Nachbarschaft jener Netzhautstellen frei ist: wo daher auf der einen Netzhaut ein Lichteindruck ununterbrochen fortläuft, während auf der entsprechenden Netzhautpartie des anderen Auges ein Eindruck sich abschneidet, da herrscht in der Auffassung jener abbrechende Eindruck vor.

Mehrere Erscheinungen, die in die gleiche Klasse gehören, wurden von H. Meyer beobachtet.**) Wenn man mit dem einen Auge durch eine offene Röhre auf eine helle Fläche sieht, mit dem andern Auge auf eine eben solche Fläche durch eine gleiche Röhre, die aber vorn bis auf eine kleine Oeffnung geschlossen ist, und die Gesichtsfelder beider Augen sich decken lässt, so sieht man im gemeinschaftlichen Gesichtsfeld einen hellen Fleck, der dem kleinen Loch entspricht, umgeben von einem tief dunkeln Rand, welcher gegen die Peripherie allmälig heller wird. Bietet man ferner dem einen Auge ein gleichmässig gefärbtes Object, dem andern Auge zwei an einander stossende Farben, so überwiegen diese im

*) Ueber Irradiation und einige andere Erscheinungen des Sehens. Giessen 1852. S. 104 u. f.

**) Graefe's Archiv für Ophthalmologie, Bd. II. 2. S. 77.

gemeinsamen Gesichtsfeld an ihrer Begrenzungsstelle, während sie weiter davon entfernt in einen mit dem Eindruck des andern Auges gemischten Farbenton übergehen. Den letzteren Versuch hat Meyer mannigfach abgeändert, indem er farbige Kreuze auf verschiedene Weise combinirte.

In ausführlicher Weise hat endlich Panum diesen Gegenstand behandelt.*) Er hebt besonders das starke Hervortreten der Contouren im Sammelbilde hervor und bringt mehrere Versuche bei, die dies sehr schlagend zeigen, im Wesentlichen aber mit den von Welcker und Meyer angeführten Versuchen übereinstimmen. Es zeigt sich überall, dass die Contouren nicht blos die Neigung haben, selber im Sammelbilde in ihrer eigenen Farbe hervorzutreten, sondern dass sie diesen Einfluss auch auf ihre unmittelbare Umgebung übertragen. Nimmt man z. B. zwei gleiche rothe Papierstreifen und legt den einen vertical auf blauen Grund, den andern horizontal auf gelben Grund, und combinirt man jetzt beide Objecte zu einem Kreuze, so überwiegt im Sammelbilde in der Umgebung des verticalen Schenkels das Blau, und in der Umgebung des horizontalen Schenkels das Gelb, und zwar so, dass die Sättigung der Farbe jedesmal gegen den Rand des Objectes abnimmt, dafür aber die Farbe eine grössere Fläche einnimmt.**)

Die Erklärungen, welche die angeführten und andere Beobachter von den Erscheinungen des Randcontrastes gegeben haben, sind sehr widerstreitend. Welcker findet die Grundursache derselben in dem Wettstreit der Sehfelder oder, wie er sich ausdrückt, „in denjenigen Organisationsverhältnissen unseres Seh- und Seelenorgans, nach welchen zweierlei Lichteindrücke, von denen jeder ein Auge gesondert trifft, durch zwei Retinen niemals zur Auffassung eines gleichmässigen, den beiden Factoren entsprechenden Mitteltons vereinigt werden.“ Der Wettstreit kann nun nach Welcker's Ansicht an jeder Stelle dadurch aufgehoben werden, dass wir willkürlich dem einen oder andern Lichteindruck unsere Aufmerksamkeit zuwenden, und dieser verdrängt dann den mit ihm streitenden der andern Retina. Dasselbe kann nun auch ohne

*) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858. S. 29 u. f.

**) Panum hat a. a. O. Fig. 27—30 sehr gute Abbildungen dieser Phänomene, die man nach der blossen Beschreibung schwer sich vergegenwärtigen kann, in Farbendruck beigegeben. Uebrigens kann der Leser sich die Erscheinung nach der gegebenen Vorschrift sehr leicht im Stereoskop verschaffen.

Zuthun unseres Willens geschehen, wenn der eine Eindruck die Veranlassung, unsere Aufmerksamkeit ihm zuzuwenden, in sich selber trägt. Dies ist aber der Fall, wenn im einen Netzhautbild eine Contour sich befindet, es wendet sich dann dieser die Aufmerksamkeit zu, „und der Wettstreit der Sehfelder ist gebannt in der jener Contour entsprechenden Region des aufgefassten Bildes.“ — Aehnlich ist die Erklärung, die H. Meyer gegeben hat. Er geht davon aus, dass in den erörterten Versuchen die beiden Augen sich an der Bildung des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes in ungleichem Grade betheiligen. Dies könnte seiner Ansicht nach nicht geschehen, wenn die Erscheinung irgend einen körperlichen Grund hätte. Die physische Erklärung würde immer nur eine mosaikartige Zusammensetzung des gemeinsamen Gesichtsfeldes aus den Eindrücken der einzelnen Augen zulassen. Es kann daher nur ein psychisches Moment, nur die durch den Contrast erregte Aufmerksamkeit sein, die hier in Betracht kommt. Auf diese führt dann Meyer auch den Wettstreit der Sehfelder zurück. Dieser tritt dann auf, wenn in keinem der beiden Gesichtsfelder etwas enthalten ist, was die Aufmerksamkeit besonders fesselt: es ist daher der Wettstreit nicht eine abwechselnde Erlahmung der beiden Netzhäute, sondern ein Alterniren der Aufmerksamkeit, die zwischen den einzelnen Gesichtsfeldern abwechselt.

Diese Hypothesen, welche auf die Aufmerksamkeit das Hauptgewicht legen, haben gegen sich, dass ein derartiger Einfluss der Aufmerksamkeit durch directe Versuche gar nicht sich nachweisen lässt. Wir haben in dieser Hinsicht oben bei einer anderen Gelegenheit die hierauf bezüglichen Versuche Fechner's sowie eigene Beobachtungen angeführt, nach welchen letzteren vermuthet werden darf, dass der Einfluss der Aufmerksamkeit in derartigen Versuchen immer ein indirecter ist, und insbesondere mittelst der Augenbewegungen erst zur Wirkung zu gelangen pflegt. Bei den hier in Betracht kommenden Erscheinungen muss nun der Ausdruck Aufmerksamkeit sogar in sehr uneigentlichem Sinne gebraucht werden, um ihn noch statuiren zu können. Es trägt der Eindruck, wie sich Welcker ausdrückt, die Veranlassung, unsere Aufmerksamkeit ihm zuzuwenden, in sich selber, d. h. unser Wille hat hier keinen Einfluss mehr, sondern wir werden unwillkürlich durch Verhältnisse, die in der objectiven Beschaffenheit der Gesichtseindrücke gelegen sind, gezwungen, den einen vor dem andern Eindruck zu bevorzugen. Es lässt mit Grund die Frage sich aufwerfen, ob es statthaft sei, den

Begriff der Aufmerksamkeit so zu dehnen, dass er auf einen psychischen Process, wie er hier gemeint ist, noch passt. Man sieht, diese wie die meisten bisher üblichen psychischen Erklärungen arbeiten noch an der Schwierigkeit, dass sie die Grenze zwischen dem bewussten und dem unbewussten Seelenleben nicht zu finden und darum die Bedeutung des letzteren für die Wahrnehmungsprocesse nicht zu würdigen verstehen. Sie gelangen zu der richtigen Erkenntniss, dass es psychische Processe sind, aber sie scheitern in der Erklärung, weil sie jeden psychischen Process als ein bewusstes und freies Denken ansehen. Gegen dieses sträuben sich die Thatsachen und führen immer wieder den nie gelingenden Versuch herbei, alle Wahrnehmung aus physischen Gesetzen zu erklären.

So bemerkte Brücke bei Besprechung der Beobachtungen H. Meyer's: es seien diese ein Beweis dafür, dass es nicht genüge, die Contrasterscheinungen einseitig von den Erregungszuständen der Netzhaut abzuleiten, sondern dass man immer die Erregungszustände des Gehirns selbst berücksichtigen müsse. In dem Versuch mit den zwei Röhren werde durch die örtliche Bestrahlung der Netzhaut des Auges, welches durch die gedeckte Röhre sieht, der Bezirk des Centralorgans, zu welchem die durch jene Bestrahlung bedingte Erregung zunächst fortgeleitet wird, so verändert, dass er weniger disponirt sei, zur Empfindung des Leuchtenden erregt zu werden, als die davon entfernter liegenden Punkte, weshalb diese auch die Erregung, die vom anderen Auge zugeleitet werde, stärker empfänden, und daher entstehe im binokularen Sehen der dunkle Hof auf hellem Felde.*)

Panum hat für alle Erscheinungen dieses Gebietes folgende Erklärung gegeben. Er glaubt annehmen zu müssen, dass Contouren physisch die Netzhaut viel stärker erregen als eine gleichmässige Grundfärbung, und zwar dass eine Contour die von ihr getroffenen Netzhauttheilchen nicht blos im Sinne ihrer Färbung stark errege, sondern dass auch die angrenzenden Netzhauttheilchen im Sinne der der Contour angrenzenden Grundfärbung stark erregt werden.

Diese letztere Erklärung ist eigentlich nur eine Beschreibung der Erscheinungen des Randcontrastes, und es ist dann, statt wirklich zu erklären, einfach nur angenommen, es verhielten sich die Eindrücke auf die Netzhaut gerade so, wie sie in der Wahrnehmung zur Erscheinung treten, wenn also

*) Sitzungsber. der Wiener Akademie der Wissensch. Mathem.-naturw. Klasse. Bd. VII. S. 455.

eine Contour in dieser zum Uebergewicht gelange, so sei sie eben auch ein stärkerer Netzhautreiz. Es ist in der That so wenig einzusehen, wie ein abbrechender Eindruck ein physisch stärkerer Netzhautreiz als ein continuirlicher sein soll, wenn im Uebrigen beide von gleicher Beschaffenheit sind, dass man auf jeden Versuch verzichten muss, diese Erklärung wirklich sich klar zu machen. Es lässt sich a priori sagen, dass, wenn eine physikalische Hypothese hier statthaft sein soll, nur die von Brücke aufgestellte oder doch eine ihr ähnliche die richtige sein könnte. Es könnte dann nur angenommen werden, dass jeder Reiz in seiner Umgebung die Erregbarkeit für die ihm gleichartigen Eindrücke abschwächt, und daher hier im gemeinsamen Gesichtsfeld leicht einen von ihm verschiedenen Eindruck des anderen Auges zum Uebergewicht kommen lässt. Es bedürfte zu dieser Hypothese keiner weiteren Annahme als einer allerdings weiter nicht erwiesenen physischen Wirkung der einzelnen Netzhauttheile auf einander, wodurch ein Netzhautpunkt, wenn er von einem Reize getroffen wird, die ihn umgebenden Punkte in eine Erregung versetzt, welche von einer der eigenen Erregung entgegengesetzten Beschaffenheit ist. Es scheint dann wenig erheblich, ob man diese gegenseitige Einwirkung als schon in der Netzhaut oder als erst im Gehirn stattfindend voraussetzt. Auch Fechner hat neuerdings dieser Annahme sich zugeneigt und eine Reihe neuer Beobachtungen beigebracht, die nach ihr sich deuten liessen, und auf die wir weiter unten zurückkommen werden.

Bleiben wir zunächst bei den Erscheinungen des Randcontrastes stehen, so sehen wir hier keineswegs die Thatsachen bei näherer Betrachtung mit einer derartigen Erklärung stimmen. Es bleibt nach ihr ganz unverständlich, wie die Beschaffenheit des Grundes einen wesentlichen Einfluss auf die Erscheinung ausüben soll. Wenn man Blau und Gelb, beide als gesättigte Farbentöne, auf grauem Grund zu unvollständiger Deckung bringt, so tritt Randcontrast auf, es werden die über einander ragenden Ränder beider Objecte ganz in der ihnen eigenen Farbe gesehen, diese verliert sich aber etwas entfernter vom Rande. Die Erscheinung wird nun schon wesentlich modificirt, wenn man den Grund nicht grau, sondern weiss nimmt: dann pflegt, bei geeigneter Wahl der Farbentöne, das Gelb das Blau an der ganzen Deckungsstelle zu verdrängen, und das Umgekehrte tritt ein, die Verdrängung des Gelb durch Blau, wenn man den Grund schwarz nimmt. Man müsste, um auch diese Erscheinungen noch mit der

physikalischen Hypothese zu vereinbaren, annehmen, dass jetzt ein doppelter Einfluss benachbarter Netzhautstellen auf einander sich geltend mache: einerseits der Einfluss der zur unvollständigen Deckung gebrachten Farbenerregungen auf einander, wodurch der Randcontrast entsteht, und anderseits der Einfluss der von dem Licht des Grundes herrührenden Erregung, der in diesem Fall den Randcontrast zum Verschwinden brächte. Es liesse sich dies so denken, dass das Licht des Grundes die Erregbarkeit für die eine Farbe stärker abschwächte als für die andere, es würde also in unserem Beispiel umgebendes weisses Licht die Erregbarkeit für Blau, umgebendes Dunkel die Erregbarkeit für Gelb abschwächen, d. h. es würde der Grund immer die Erregbarkeit für diejenige Farbe und Helligkeit abschwächen, mit der er am meisten contrastirt. Dies ist aber nicht vereinbar mit der für den Randcontrast gegebenen Erklärung, welche nur davon ausgehen kann, dass eine Farbe die Erregbarkeit für sich selber in ihrer Umgebung abschwäche, und welche daher erwarten liesse, dass auch bei der Einwirkung des Grundes die Farbe oder Helligkeit verdrängt werde, mit welcher der Grund am wenigsten contrastirt. Wollte man aber selbst über diesen Widerspruch sich hinwegsetzen, so würde man in Conflict gerathen mit der Erklärung, die man vom Standpunkt der physikalischen Hypothese aus von der Verdrängung durch Contrast mit dem Grund zu geben genöthigt. Diese Art der Verdrängung würde man in der That nicht anders deuten können, als indem man annähme, dass der Grund die Erregbarkeit für diejenige Farbe abschwäche, mit der er am wenigsten in Contrast steht. Es ist überhaupt von vornherein klar, dass mit der physikalischen Hypothese die Verschiedenheit der beiden Verdrängungen, und ebenso das Phänomen des Wechsels derselben, der sogenannte Wettstreit der Sehfelder, sich nimmermehr vereinigen lässt. — Wir glauben somit bewiesen zu haben, dass die physikalische Hypothese, sobald man sie auf die einzelnen Fälle anzuwenden sucht, zu unlösbaren Widersprüchen führt, welche zeigen, dass die Annahme, von der man ausging, unrichtig war.

Dagegen sind für die psychologische Theorie des binokularen Contrastes, die wir begonnen haben, alle hier erörterten Erscheinungen vollkommen verständlich. Wir haben die wesentliche Verschiedenheit der Verdrängung durch Contrast mit dem Grund und der Verdrängung durch Eigencontrast oben näher bezeichnet. An die letztere schliesst sich der Randcontrast unmittelbar als besonderer Fall an. Die Verdrängung durch

Eigencontrast führte uns auf die Spiegelung. Jene Verdrängung kam zu Stande, indem das eine der an ihrer Deckungsstelle scharf gegen einander begrenzten Objecte im andern gespiegelt erschien, wobei aus den früher angeführten Gründen immer dasjenige Object das spiegelnde war, das mit dem Grund am meisten contrastirte. Ich habe nun schon im vorigen Abschnitt bemerkt, dass, sobald uns ein Gegenstand spiegelnd erscheint, dadurch dass wir einen andern durch denselben hindurch zu erblicken glauben, das spiegelnde Ansehen sich nicht auf die Stelle beschränkt, wo die beiden Objecte, das spiegelnde und das gespiegelte, sich decken, sondern dass die ganze Oberfläche des spiegelnden Gegenstandes durchsichtig zu sein scheint. Es ist dies Verhalten vollkommen naturgemäss, da ja die Spiegelung, d. h. das Sehen eines Objectes durch ein anderes, überhaupt erst der Vorstellungsthätigkeit zukommt; wenn wir uns nun überzeugt haben, dass eine beschränkte Stelle eines Gegenstandes durchsichtig ist, so sind wir geneigt, dies alsbald auf seine ganze Oberfläche oder doch einen grösseren Theil derselben zu übertragen, namentlich wenn die Farbe und Helligkeit dieser Oberfläche uns überall gleichmässig erscheint. Dies ist nun im vorliegenden Falle realisirt; mit dem einen Auge sehen wir das gleichmässig gefärbte Object, mit dem andern sehen wir ein Object von anderer Farbe, das jenes erst nur theilweise deckt, wir bilden uns daraus eine stereoskopische Vorstellung, d. h. wir glauben dieses letztere Object in dem ersten wie in einem Spiegel, der es nur dem einen Auge sichtbar werden lässt, zu erblicken. Das mit dem ersten Auge gesehene Object erscheint uns daher an der Deckungsstelle durchsichtig, und wir abstrahiren von dessen eigener Farbe, wir abstrahiren aber von dieser Farbe leicht auch noch über die Deckungsstelle hinaus, weil die Vorstellung der Durchsichtigkeit sich über das ganze Object verbreitet. Hier aber kommt nun das Object mit der gleichmässigen Farbe des Grundes im andern Auge zu Deckung, wir sehen daher wirklich diesen Grund von dem Deckungsrand an durch das spiegelnde Object hindurch. Aber warum verdrängt nun dieser Grund nicht gleichmässig das andere Object über seine ganze Oberfläche hin, sondern warum beschränkt sich diese Verdrängung blos auf die Randstellen des scheinbar gespiegelten Objectes? Der Grund hiervon muss darin gesucht werden, dass gegen die Grenzen des scheinbar spiegelnden Objectes der Contrast desselben mit dem Grund zur Wirkung gelangt, welcher Contrast hier die Farbe des Grundes vollständig ver-

drängt. Bringen wir also z. B. ein grösseres blaues Quadrat mit einem kleineren gelben Streifen, beide auf weissem Grunde, zur Deckung, so erscheint der gelbe Streifen fast ganz gesättigt, und um denselben verbreitet sich überdies noch ein weisser Schimmer, weil die Vorstellung der Spiegelung, die durch das Sehen des gelben in dem blauen Object angeregt wurde, sich über das ganze letztere Object verbreitet; dieser weisse Schimmer verschwindet aber gegen die Grenze des blauen Objects, weil hier das mit einem Auge gesehene Blau gegen den mit beiden Augen gesehenen weissen Grund lebhaft contrastirt. Es sind also zwei wesentlich verschiedene Erscheinungen, die den Randcontrast zusammensetzen: die Spiegelung ist die Ursache, dass das kleinere Object einen Theil seines Grundes mit in das Sammelbild bringt, der Contrast mit dem Grund ist die Ursache, dass diese Wirkung sich nicht auf das ganze Sammelbild ausdehnt, sondern gegen die Grenzen desselben dem Hervortreten der Farbe des grösseren Objectes Platz macht. Man kann somit den Randcontrast als zusammengesetzt betrachten aus der Verdrängung durch Eigencontrast und aus der Verdrängung durch Contrast mit dem Grund. Die erstere ist es, die das kleinere Object nebst einem es umgebenden Theil seines Grundes in der Mitte des Sammelbildes zum Uebergewicht bringt, die letztere ist es, welche das grössere Object in der Grenze des Sammelbildes hervorhebt.

Ohne näheres Studium der Erscheinungen, auf die sie sich stützt, möchte diese Erklärung leicht auffallend erscheinen. Sollte es nicht gelingen, die Verdrängung in der Mitte wie an den Grenzen des Sammelbildes aus einer und derselben Ursache abzuleiten? Es sind aber in der That bestimmte Gründe vorhanden, beide Verdrängungen in der Weise wie es geschehen ist auf verschiedene Momente zurückzuführen.

Man könnte zunächst vermuthen, es sei der Contrast mit dem Grund, der die ganze Erscheinung bedinge. Wie der Rand des grösseren Objectes durch Contrast hervorgehoben wird, könnte man sagen, so wird dies auch mit dem Rand des kleineren Objectes der Fall sein, das im Sammelbild in dem grösseren gelegen ist, für das also dieses grössere gewissermassen den Grund bildet. Es würde aber darnach ganz und gar unverständlich sein, warum nicht blos das kleinere Object allein zum Uebergewicht kommt, sondern warum es noch den umgebenden Grund mit in das Sammelbild hereinzieht. Es würde ferner darnach nicht zu verstehen sein, warum das Hervortreten des kleineren Objectes nicht

gleichfalls auf den Rand sich beschränke. Dies ist aber niemals der Fall; auch wenn man dieses Object ziemlich gross nimmt, so dass Unterschiede im Farbenton an seiner Oberfläche noch recht wohl zu bemerken sein müssten, erkennt man nicht den geringsten Unterschied in der Färbung, während, wenn man vom grösseren Object nach der Deckung nur noch einen kleinen Saum übrig hat, an diesem die Verschiedenheit noch deutlich sich zeigt.

Ebenso wenig kann aber das ganze Phänomen auf die Vorstellung der Spiegelung zurückgeführt werden, denn es würde dann wieder unverständlich sein, warum die Spiegelung gegen den Rand des grösseren Objectes aufhört und warum nicht, wie beim Glanz, die ganze Oberfläche spiegelt. Man könnte sich hierfür höchstens noch die Deutung machen, die Grenze des scheinbar spiegelnden Objectes prävalire deshalb in der Wahrnehmung, eben weil es das Object und damit auch die Vorstellung von demselben abgrenze. Aber diese Annahme wird durch folgenden Versuch, der schlagend beweist, dass man es hier nur mit einer Verdrängung durch Contrast mit dem Grund zu thun hat, widerlegt. Man nehme ein blaues und ein weisses Quadrat von gleicher Grösse, in das letztere lege man einen kleineren gelben Papierstreifen, und beide Objecte bringe man auf grauen Grund. Bringt man jetzt die Objecte zur Deckung, so ist kein Randcontrast da, sondern man sieht den weissen Schimmer gleichmässig über das blaue Feld verbreitet, und dieses erscheint daher glänzend und nicht spiegelnd. Sowie man aber das weisse Feld etwas grösser als das blaue macht, so tritt alsbald der Randcontrast auf, indem die Grenze des blauen Objectes zum Uebergewicht gelangt.

Es ist somit der Nachweis geliefert, dass das Zusammentreffen jener beiden Bedingungen, der Spiegelungserscheinung und des Contrastes mit dem Grund, das Wesen des Randcontrastes ausmacht. Es sind, wenn man von diesem Princip ausgeht, alle vorkommenden Erscheinungen leicht zu erklären.

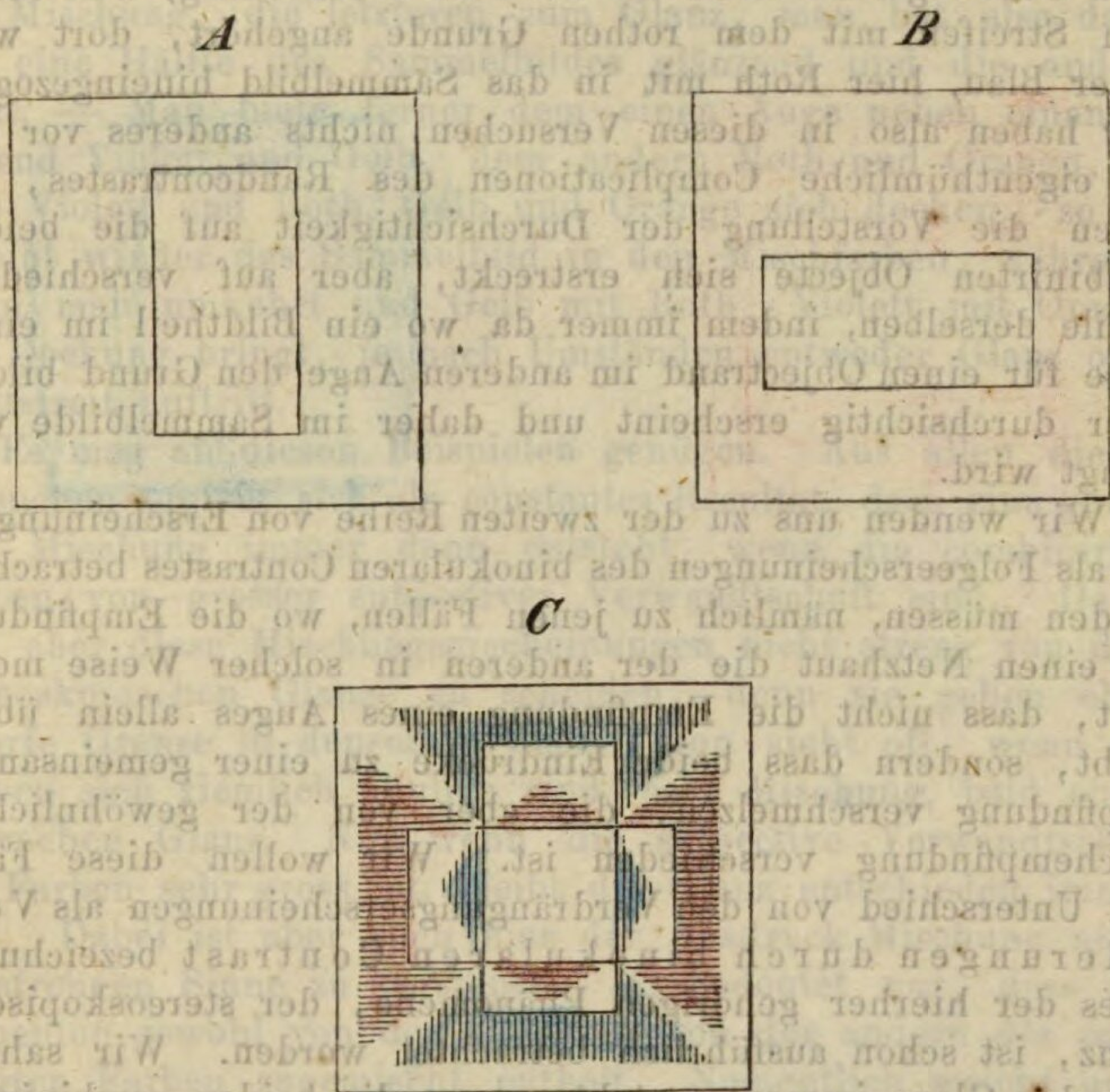
Der einfachste Versuch ist schon gelegentlich erörtert worden. Bringt man ein grösseres und ein kleineres Object binokular zur Deckung, so wird das letztere im ersteren gesehen umgeben von einem Schimmer des gemeinsamen Grundes. Die Ausdeheung dieses Schimmers ist abhängig von der absoluten und relativen Grösse der beiden Objecte. Nimmt man als kleineres Object nur einen ganz schmalen Streifen, so ist derselbe im gemeinsamen Bilde von einem Hof von geringer Ausdehnung umgeben. Dieser Hof ist am ausgedehntesten,

wenn man den Streifen ziemlich gross und das umschliessende Object so gross als möglich wählt, wenn man also den Grössenunterschied und die absolute Grösse der Objecte beide möglichst gross nimmt. Die Ausdehnung des Hofes nimmt endlich in dem Maasse ab, als man den Grössenunterschied der Objecte verringert. — Auch die früher bei der Besprechung des Eigencontrastes angeführten Versuche gehören hierher. Wenn man nämlich zwei Objecte auf gleichem Grund zu unvollständiger Deckung bringt, so ist nur der Rand des verdrängenden Objectes an der Deckungsstelle scharf abgegrenzt; das verdrängende Object erscheint durchsichtig, und es wird daher noch ein Theil des Grundes an jenem Rand in das gemeinsame Bild hereingebracht. Ist der Contrast der Objecte unentschieden, so dass die Verdrängung unvollständig geschieht, so tritt der Contrast beider an ihren über einander geschobenen Grenzen am lebhaftesten vor; jedes Object verdrängt daher das andere an seiner Randstelle und zieht an deren Umnachbarung einen Theil des Grundes in das gemeinsame Bild. In diesem Fall erscheint also das eine Object an der einen, das andere Object an der anderen Stelle durchsichtig, und der Grund erscheint das eine Mal im einen, das andere Mal im anderen Objecte gespiegelt.

Zusammengesetzter ist der Versuch, wenn man zwei Objecte auf verschiedenfarbigem Grunde zur unvollständigen Deckung bringt. Man nehme ein rothes und ein blaues Quadrat von gleicher Grösse, auf die Mitte eines jeden von beiden lege man einen gelben Streifen. Bringt man die beiden Quadrate so zur Deckung, dass die gelben Streifen nicht zusammenfallen, sondern noch eine kleine Strecke zwischen sich lassen, so sieht man, wenn das Blau rechts, das Roth links liegt, im Sammelbild den rechten gelben Streifen auf seiner rechten Seite von einem blauen Schimmer, den linken gelben Streifen auf seiner linken Seite von einem rothen Schimmer umgeben, zugleich erscheint der erstere Streifen schwach roth tingirt, der letztere schwach blau tingirt, im Zwischenraum der beiden Streifen sieht man Roth und Blau gemischt, oder vielmehr die eine Farbe durch die andere. Lässt man die gelben Streifen vollständig sich decken, so sieht man das Sammelbild derselben rein gelb, und der aus Blau und Roth vereinigte Grund erscheint glänzend. — Es schliessen sich hier unmittelbar die Versuche an, in denen man Kreuze aus gleichfarbigen Streifen auf verschiedenfarbigem Grund binokular zusammensetzt. Legt man z. B. im vorigen Versuch den gelben Streifen auf blauem Feld vertical, den

gelben Streifen auf rothem Feld horizontal, Fig. 4 *A* und *B*, so erscheint im Sammelbild *C* ein gelbes Kreuz, dessen verticaler Schenkel von einem blauen, dessen horizontaler Schenkel

Fig. 4.



von einem rothen Hof umgeben ist; der erstere Schenkel erscheint an den beiden Rändern seiner Durchkreuzungsstelle röthlich gefärbt, der letztere erscheint an den entsprechenden Begrenzungen bläulich gefärbt. Ich habe die Beschaffenheit des Sammelbildes dadurch angedeutet, dass ich in der Figur die bläulich schimmernden Partien vertical, die röthlich schimmernden horizontal schraffirte.

Es erscheint überflüssig, die Beispiele hier noch mehr zu häufen; obgleich diese Versuche in vielfältiger Weise sich variiren lassen, so bieten sie doch immer eine und dieselbe Erscheinung, nur in verschiedenen Combinationen. So wird im letzterwähnten Versuch der verticale Streifen durch den rothen Grund des anderen Auges, der horizontale Streifen durch den blauen Grund des anderen Auges gesehen, jener

zieht daher seinen eigenen blauen, dieser seinen eigenen rothen Grund mit in das Sammelbild. Ebenso verhält es sich mit den Rändern der Deckungsstelle. Am verticalen Deckungsrand erscheint das Roth durchsichtig, weil dieser dem Streifen mit dem blauen Grunde angehört, am horizontalen Deckungsrand erscheint das Blau durchsichtig, weil dieser dem Streifen mit dem rothen Grunde angehört, dort wird daher Blau, hier Roth mit in das Sammelbild hineingezogen. Wir haben also in diesen Versuchen nichts anderes vor uns als eigenthümliche Complicationen des Randcontrastes, bei denen die Vorstellung der Durchsichtigkeit auf die beiden combinirten Objecte sich erstreckt, aber auf verschiedene Theile derselben, indem immer da wo ein Bildtheil im einen Auge für einen Objectrand im anderen Auge den Grund bildet, jener durchsichtig erscheint und daher im Sammelbilde verdrängt wird.

Wir wenden uns zu der zweiten Reihe von Erscheinungen, die als Folgeerscheinungen des binokularen Contrastes betrachtet werden müssen, nämlich zu jenen Fällen, wo die Empfindung der einen Netzhaut die der anderen in solcher Weise modificirt, dass nicht die Empfindung eines Auges allein übrig bleibt, sondern dass beide Eindrücke zu einer gemeinsamen Empfindung verschmelzen, die aber von der gewöhnlichen Mischempfindung verschieden ist. Wir wollen diese Fälle zum Unterschied von den Verdrängungserscheinungen als Veränderungen durch binokularen Contrast bezeichnen. Eines der hierher gehörigen Phänomene, der stereoskopische Glanz, ist schon ausführlich betrachtet worden. Wir sahen, dass der Glanz immer entsteht, wenn die beiden combinirten Objecte mit einander contrastiren und zugleich annähernd gleich stark durch Contrast mit dem Grund gehoben werden. Hieran schliesst sich unmittelbar der Fall an, wo die combinirten Objecte zwar gleich stark gehoben werden, aber nur sehr wenig mit einander contrastiren. Es bleibt dann der Glanz aus, und es entstehen eigenthümliche Mischungserscheinungen.

Man lege neben einander als Object für das eine Auge einen orangefarbenen und indigblauen Streifen, ebenso als Object für das andere Auge einen rothen und violetten Streifen. Combinirt man beide Objecte so, dass Roth auf Orange und Violett auf Indigblau fällt, so sieht man beide Farbenpaare gemischt: das gemeinsame Bild zeigt zwei Streifen, von denen der Farbenton des einen zwischen Roth und Orange, der des anderen zwischen Indigo und Violett in der Mitte steht.

Kehrt man das eine Object um, so dass nun Violett und Orange, Roth und Blau sich decken, so bleibt die Mischung aus, und man bekommt Wettstreit oder Glanz. Nimmt man zum einen Object Roth und Orange, zum andern Violett und Blau, und lässt man das Violett und Roth und das Blau und Orange zur Deckung kommen, so combiniren sich die ersteren zur Mischung, die letzteren zum Glanz, man hat also dann die eine Hälfte des Sammelbildes glänzend und die andere nicht. — Man biete ferner dem einen Auge neben einander liegend Violett und Gelb, dem andern Roth und Orange, so dass Violett und Roth, Gelb und Orange sich decken, so erscheint wieder das Sammelbild in den Mischfarben, während, wenn man umkehrt und Gelb mit Roth, Violett mit Orange zur Deckung bringt, je nach Umständen entweder Glanz oder Wettstreit auftritt.

Es mag an diesen Beispielen genügen. Aus allen diesen Versuchen ergiebt sich als constantes Resultat, dass eine glanzlose Mischung immer dann entsteht, wenn die combinirten Farben von grosser subjectiver Verwandtschaft sind. Dabei sind aber diese Mischungserscheinungen nicht streng von dem stereoskopischen Glanze zu scheiden, denn sie gehen ohne scharfe Grenze in denselben über. Man sieht oft, wenn die Farben sich ziemlich ähnlich sind, bald Mischung, bald einen schwachen Glanz. Nur wenn die subjective Verwandtschaft der Farben sehr gross ist, bleibt der Glanz entschieden immer weg. Dabei ist aber auch hier der Ausdruck Mischung nicht im strengen Sinne zu verstehen. Er bedeutet nur, dass der Farbenton sowohl von der einen als von der andern der combinirten Farben zugemischt enthält. Namentlich weicht aber die Mischfarbe in Bezug auf ihre Helligkeit von dem Erfolg, den man erwarten sollte, bedeutend ab. Die Erfahrungen hierüber lassen sich dahin zusammenfassen, dass bei der Combination dunkler Farbentöne von geringem Helligkeitsunterschiede die binokulare Mischfarbe dunkler ist, als jede einzelne der sie zusammensetzenden Farben, und dass bei der Combination heller Farbentöne von geringem Helligkeitsunterschied die binokulare Mischfarbe heller ist als jede der Farben, die sie zusammensetzen. Dieses Gesetz gilt auch da noch, wo die Farben von grösserer Verschiedenheit sind, so dass sie Glanz erzeugen: es ist dann der Glanz dunkler oder heller als jede einzelne der Farben, die ihn zusammensetzen. Grundbedinguug der Erscheinung ist nur immer, dass man den Helligkeitsunterschied der binokularen Combination sehr gering wählt. Man vereinige z. B. ein sehr mit Weiss gemischtes

Rosa und ein ebenso mit Weiss gemischtes Gelb: das vereinigte Object ist aus beiden Farben zusammengesetzt, erscheint aber noch viel mehr mit Weiss gemischt als jedes der Objecte des einzelnen Auges. Man vereinige ferner ein dunkles Blau und ein dunkles Roth von geringem Helligkeitsunterschied: das vereinigte Object erscheint glänzend, aber in einem Glanze, der viel dunkler ist als jede der zusammensetzenden Farben.

Die Erklärung dieser Mischungserscheinungen muss von denselben Principien ausgehen, auf die wir die Theorie des Glanzes gegründet haben. Wenn beiden Augen Objecte von sehr geringer Verschiedenheit der Helligkeit und des Farbentons geboten werden, so haben wir keinen Grund, das Sammelbild in die Vorstellung zweier Gegenstände zu trennen, wie dies beim Glanze geschieht. Denn derartige geringe Verschiedenheiten kommen auch an den Gegenständen unserer täglichen Erfahrung vor, dadurch, dass nahe liegende Objecte von beiden Augen in etwas verschiedener Beleuchtung gesehen werden. Diese Beleuchtungsverschiedenheit kann nicht blos die Helligkeit der zwei Bilder verschieden machen, sondern, wenn die Lichtquelle nicht rein weisses Licht giebt, kann sie auch den Farbenton etwas abändern. Das Sammelbild aber, das sich aus den beiden Eindrücken zusammensetzt, erscheint uns dann in der Mischfarbe. Bei der stereoskopischen Combination von Objecten mit sehr geringer Verschiedenheit in Farbenton und Helligkeit geschieht nun nichts anderes als eine Wiederholung dieser uns im gewöhnlichen Sehen geläufigen Bedingungen. Wir sehen daher auch hier die Mischfarbe, aber nur so lange, als wir noch die Verschiedenheit der beiden Bilder auf solche Unterschiede der Beleuchtung zurückführen können; sobald dies nicht mehr der Fall ist, sobald wir beide Bilder auf getrennte Objecte, ein spiegelndes und ein gespiegeltes, zurückführen müssen, tritt die Erscheinung des Glanzes an die Stelle. Auch die Helligkeitsverschiedenheit des combinirten Bildes von den es zusammensetzenden Objecten, kann man sich in ähnlicher Weise erklären. Ein Gegenstand erscheint uns entweder deshalb hell, weil er selbst von heller Farbe ist, oder weil er helles Licht, das auf ihn fällt, zurückspiegelt; ebenso kann er dunkel erscheinen, weil er eine dunkle Farbe hat, oder weil er in gedämpfter Beleuchtung steht. Trifft nun beides zusammen, so wird die Vorstellung des Hellen oder Dunkeln bedeutend erhöht: im ersten Fall erscheint der Gegenstand heller als seine Beleuchtung wegen seines eigenen Lichtes, und heller als sein eigenes Licht wegen seiner Beleuchtung; das Entgegengesetzte findet

sich im zweiten Fall. Die Bedingung hierzu haben wir in unsern Versuchen, in denen das Bild des einen Auges als das Licht des Gegenstandes, das Bild des andern Auges als das Licht seiner Beleuchtung aufgefasst wird. Beide Helligkeiten mischen sich nicht, sondern sie steigern sich. Aber diese Steigerung ist ganz von unserer Vorstellung abhängig, denn sie geschieht im positiven Sinne, wenn die Lichteindrücke unserer Vorstellung hell bedeuten, und sie geschieht im negativen Sinne, wenn die Lichteindrücke für unsere Vorstellung die Bedeutung dunkel haben.

Die Mischungserscheinungen sind von ziemlich beschränktem Vorkommen, denn sie entstehen wie gesagt nur bei der Combination von Objecten, deren Farbe sich sehr nahe kommt; sobald die Verschiedenheit der letztern grösser ist, entsteht je nach Umständen entweder Glanz oder Verdrängung. Die Mischungserscheinungen bilden eigentlich nur einen Grenzfall des Glanzes, in ihren Bedingungen kommen sie mit diesem wesentlich überein, sie unterscheiden sich nur darin, dass bei ihnen eine so scharfe Scheidung des spiegelnden und des gespiegelten Objectes wegen der grossen Farbenähnlichkeit nicht möglich ist. Es wurde dies oben schon angedeutet. Die gleichen Bedingungen, die wir in dem Versuch künstlich hervorbringen, finden sich nicht selten in der Natur verwirklicht, wenn wir ein Object mit dem einen Auge in seiner eigenen Farbe sehen und gleichzeitig mit dem andern Auge in einer Farbe, die es zurückspiegelt. Es ist dies dieselbe Bedingung, die auch dem stereoskopischen Glanze zu Grunde liegt. Aber wenn das directe und das gespiegelte Licht nur von sehr geringer Verschiedenheit sind, so können dieselben nicht mehr auf verschiedene Objecte bezogen werden, wie dies zur Erscheinung des Glanzes erforderlich ist, und es entsteht daher nicht Glanz, sondern Mischung, aber eine Mischung, die von dem Glanze nicht scharf zu trennen ist, und die jeden Augenblick, sowie die Verschiedenheit der beiden Bilder um ein Weniges grösser wird, in Glanz übergehen kann.

Verwandter dem monokularen Contrast ist eine Reihe von Erscheinungen, bei denen weder Glanz noch Mischung auftritt, wo aber die Helligkeit oder Farbe, mit der das eine Auge gereizt wird, sich auf die Empfindung des andern von bestimmtem Einflusse zeigt. Dieser Einfluss kann sogar dann statthaben, wenn jene Reizung des ersten Auges gar nicht zum Bewusstsein gelangt. Wir können die hierher gehörenden Erscheinungen im Allgemeinen als W e c h s e l b e z i e h u n g e n der Gesichtsempfindungen beider Augen bezeichnen. Die

Kenntniss dieser Wechselbeziehungen verdanken wir allein dem Scharfsinne Fechner's, der durch eine Reihe der schönsten Versuche diese Form des binokularen Contrastes zuerst dargethan und die Grunderscheinungen dieses Gebietes festgestellt hat.*)

Wenn man die eine Netzhaut mit einer Farbe reizt, so erscheint die gleichzeitig mit gedämpftem weissem Licht gereizte andere Netzhaut in der Complementärfarbe. Lässt man die Farbenreizung aufhören, so folgt in der ersten Netzhaut ein complementäres Nachbild, in der zweiten Netzhaut eine der ursprünglichen Farbe gleiche Stimmung. Nimmt man also z. B. vor das Auge *A* ein rothes, vor das Auge *B* ein graues Glas, so sieht *A* Roth und *B* ein schwaches Grün, wenn man Doppeltsehen eintreten lässt; nimmt man das Glas vor dem Auge *A* weg, so sieht jetzt umgekehrt *A* Grün (das grüne Nachbild) und *B* ein schwaches Roth. Dabei lässt sich nachweisen, dass die dem Reize complementäre oder gleichfarbige Stimmung sich nicht auf die gereizten correspondirenden Punkte beschränkt, sondern sich über dieselben hinaus ausbreitet. Wenn man also nur eine beschränkte Stelle einer Netzhaut farbig reizt, so erscheint auch eine hierzu disparate Stelle der andern Netzhaut während des Reizes complementärfarbig und nach dem Reize gleichfarbig.

Wenn beide Augen mit zu einander complementären Farben gereizt werden, so hinterbleiben in ihnen subjective zu einander complementäre Farbenstimmungen, die zu Weiss combinirt, oder durch Schliessen des einen Auges, sowie durch Auseinanderschieben von Doppelbildern, getrennt wahrgenommen werden können. Dabei sind diese complementären Nachfarben von unvergleichlich längerer Dauer als das Nachbild eines einzelnen Auges.

Die Farbe des Nachbildes einer Netzhaut zeigt sich nicht blos abhängig von der Beschaffenheit der vorausgegangenen farbigen Reizung derselben Netzhaut, sondern bis zu einem gewissen Grade auch von einer etwa vorausgegangenen farbigen Reizung der Netzhaut des anderen Auges. Hält man z. B. vor das Auge *A* ein rothes, vor das Auge *B* ein grünes Glas, so bekommt man in *A* ein grünes Nachbild, hält man aber vor *B* ein blaues Glas, so bekommt man in *A* ein Nachbild von blauer Farbe.

*) In der Abhandlung Ueber einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Leipzig. 1860. (Aus den Abhandlungen der königl. sächs. Gesellsch. der Wissenschaften.)

Die aufgezählten Erscheinungen sind leicht zu erklären, wenn man von den Thatsachen des monokularen Contrastes ausgeht. Diese zeigen bereits, dass unsere Beurtheilung der Farben von absoluter Bestimmtheit sehr weit entfernt ist, und auch durch die grösste Uebung dieselbe nicht zu erlangen vermag. Wir beurtheilen eine Farbe immer nur in Vergleichung mit den andern Farbeneindrücken, die gleichzeitig auf unser Auge einwirken. Wenn wir daher auf farbigen Grund ein graues oder schwarzes Papierschnitzelchen legen, so erscheint dieses in der Complementärfarbe, namentlich wenn man, wie H. Meyer gezeigt hat, durch darüber gelegtes Briefpapier die Farbe bedeutend abschwächt.*) Wir übertragen in diesem Fall die Farbe des Grundes auf das darübergelegte weisse Briefpapier, das wir uns demnach, wenn der Grund z. B. grün gefärbt ist, in seiner ganzen Continuität schwach grün gefärbt vorstellen; das untergelegte Papierschnitzelchen nehmen wir als ein durchgesehenes Object, ein Object aber, das durch Grün gesehen weiss oder grau erscheint, muss in Wirklichkeit von röthlicher Farbe sein, und diese Farbe legen wir daher auch demselben bei. Dass diese Auffassung der Farbe keine physische Continuitätswirkung der Netzhaut, sondern rein nur eine Sache des Urtheils ist, hat auf schlagende Weise Helmholtz gezeigt: wenn man nämlich ein Papierstückchen nimmt, welches genau dieselbe Farbe und Helligkeit hat wie das Briefpapier über der grauen Unterlage, und jenes an diese Stelle heranschiebt, so schwindet, so bald man anfängt die Farben mit einander zu vergleichen, die Contrastwirkung, und die weisse Stelle des Briefpapiers erscheint nun wirklich weiss.**)

Unsere Beurtheilung einer Farbe kann nun in ähnlicher Weise wie hier durch die gleichzeitige Reizung verschiedener Stellen derselben Netzhaut mit verschiedenen Farbestrahlen auch bestimmt werden durch die gleichzeitige Reizung der Netzhaut des anderen Auges. Wenn also das erste Auge eine Farbe sieht, so wird das zweite Auge, wenn man abgedämpftes weisses Licht in dasselbe fallen lässt, nicht Weiss oder Grau, sondern zu jener Farbe die Complementärfarbe sehen. Diese Wechselbeziehung wird sich auch auf die subjectiven Farbenstimmungen erstrecken: wenn im einen Auge ein Nachbild von bestimmter Färbung besteht, so wird die Netzhaut des

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 95. 1855. S. 170.

**) Helmholtz, Physiologische Optik, S. 404.

andern Auges einen hierzu complementären also der ursprünglichen Farbe gleichen Farbenreiz empfinden. Es findet hier dieselbe Wechselbeziehung zwischen zwei Augen statt, die beim monokularen Contrast zwischen verschiedenen Stellen eines Auges vorhanden ist, und die gerade in Bezug auf Nachbilder schon vor längerer Zeit von Fechner im monokularen Sehen beobachtet worden ist.

Auch die unverhältnissmässig lange Dauer der Nachbilder, wenn beide Augen mit zu einander complementären Farben gereizt werden, ist in ähnlicher Weise zu verstehen. Was wir Weiss nennen, ist zu verschiedenen Zeiten etwas sehr Verschiedenes. Wir haben vorhin einen Fall bezeichnet, wo wir weisses Licht für farbiges ansehen, weil die Netzhaut des anderen Auges oder eine andere Stelle derselben Netzhaut gleichzeitig farbig gereizt wird. Ebenso kann es kommen, dass wir farbiges Licht für weisses ansehen. Im Allgemeinen übersehen wir Farben, die sich dem Weiss sehr annähern, leicht vollständig, wenn nicht besondere Umstände unser Unterscheidungsvermögen schärfen. So unterscheiden wir sehr abgeblasste Nachbilder nicht mehr von Weiss; aber wenn wir complementäre Nachbilder in beiden Augen hervorrufen, so setzt uns die Vergleichung in den Stand, die subjectiven Farben noch eine längere Zeit wahrzunehmen. Die Nachbilder dauern also hierbei nicht länger, sondern sie werden nur länger gesehen.

Der Einfluss der Farbenreizung eines Auges auf die subjective Nachfarbe im andern Auge nach farbiger Reizung desselben schliesst sich an die zuerst besprochenen Wechselbeziehungen an. Wurde z. B. das eine Auge grün gereizt, so hinterbleibt, wie wir sahen, im andern Auge eine grüne Farbenstimmung, durch diese wird, wenn dieses Auge selber zuvor roth gereizt wurde, die grüne Nachfarbe desselben erhöht. Wurde aber das erste Auge blau gereizt, so hinterbleibt im zweiten Auge eine blaue Farbenstimmung, die, wenn sie zum grünen Nachbild hinzutritt, dasselbe blaugrün färbt. Es kommt dabei in Betracht, dass die Farbe der Nachbilder überhaupt keine sehr entschiedene ist, so dass wir zwischen nahe stehenden Farbentönen leicht schwanken. Wir können daher, namentlich wenn wir die Nachfarbe in beiden Fällen vergleichen, die eine als reines Grün, die andere als reines Blau auffassen.

Analoge Wechselbeziehungen wie zwischen den Farbenempfindungen beider Augen, hat Fechner zwischen den

Helligkeitsempfindungen derselben aufgefunden.*) Sie gehören übrigens einer anderen Reihe von Erscheinungen an.

Wenn man mit dem einen Auge frei in den Himmel sieht, das andere geschlossen hält, und dann vor dieses zweite Auge ein graues Glas bringt, so wird, sobald man das geschlossene Auge öffnet, um mit demselben durch das graue Glas zu sehen, das gemeinsame Gesichtsfeld plötzlich verdunkelt, schliesst man wieder dieses Auge, so wird das gemeinsame Gesichtsfeld erhellt. Vollständige Verdunkelung eines schon zum Theil verdunkelten Auges bei unverdunkeltem anderen bewirkt also eine Erhellung des gemeinsamen Gesichtsfeldes, Zulassung des Lichtes umgekehrt Verdunkelung. Da vom Standpunkt der Identitätslehre aus jedenfalls ein diesem gerade entgegengesetzter Erfolg erwartet werden müsste, so hat Fechner diesen Versuch als paradoxen Versuch bezeichnet. — Bei näherer Verfolgung des Versuchs ergab sich, dass derselbe gewisse Grenzen hat. Die Abnahme der Helligkeit des gemeinsamen Sehfeldes tritt nämlich nur ein, wenn die Lichtintensität im verdunkelten Auge nicht weiter gesteigert wird, als dass sie $^2/_{100}$ bis $^5/_{100}$ der Lichtintensität im nicht-verdunkelten Auge beträgt. Geht die Steigerung weiter, so nimmt die Lichtintensität im gemeinsamen Sehfelde in der That nicht ab sondern zu.

Der paradoxe Versuch lässt sich, wie ich glaube, unmittelbar unter die früher erörterten Mischungserscheinungen subsumiren, mit dem Unterschied, dass es sich bei ihm nicht um die Combination von Farben, sondern von Helligkeitsstufen handelt. Zugleich kommt aber in Betracht, dass bei ihm niemals eine Wahrnehmung begrenzter Objecte von verschiedener Helligkeit stattfindet. Wenn wir ein begrenztes schwarzes und ein eben solches weisses Object binocular combiniren, so entsteht ein graphitähnlicher Glanz. Aber es entsteht kein Glanz, wenn wir mit dem einen Auge in die Tageshelle blicken und das andere geschlossen halten, obgleich wir hier in ähnlicher Weise Hell und Dunkel auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute vereinigen; es entsteht ebenso wenig Glanz, als wenn wir ein weisses Object auf unbegrenzten schwarzen Grund legen und dasselbe zu Doppelbildern auseinanderschieben: wie hier das weisse Object nicht merklich durch den schwarzen Grund, den es im andern Auge deckt, getrübt wird, so wird dort der monokulare Lichteindruck durch das Dunkel des geschlossenen Auges nicht verdunkelt.

*) A. a. O. Seite 416 u. f.

Legt man zuerst ein weisses Object auf schwarzen Grund, dann dasselbe Object auf grauen Grund, und lässt man jedesmal Doppelsehen eintreten, so sind die Doppelbilder im ersten Fall viel heller als im zweiten, obgleich sie mit grösserer Dunkelheit im andern Auge combinirt sind. In der That sind die Bedingungen hier ganz ähnliche wie beim paradoxen Versuch, nur dass wir beim Sehen begrenzter Objecte den monokularen Contrast mit dem Grund mitwirken haben, der den Erfolg noch verstärkt.

Wenn wir diffuses Licht von beträchtlicher Verschiedenheit auf beide Augen einwirken lassen, so nehmen wir niemals eine Mischfarbe wahr. Nur wenn wir die Farben oder Helligkeiten auf begrenzte Objecte beziehen können, tritt die Mischung auf in der Form des Glanzes, bei dem aber, wie wir sahen, gleichfalls nicht eigentlich von einer reinen Mischung zu reden ist. Werden aber beide Augen nur von zerstreutem Licht getroffen, so verdrängt stets der Lichteindruck des einen Auges den Lichteindruck des andern. Es lässt sich dies auch für Farbenempfindungen nachweisen. Sehe ich mit dem einen Auge durch ein blaues, mit dem andern Auge durch ein rothes Glas auf ein weisses Feld auf schwarzem Grunde, so erscheint dieses lebhaft glänzend, ebenso als wenn man entsprechend pigmentirte Objecte binokular combinirt. Sehe ich aber dann auf eine für das Auge unbegrenzte gleichförmig weisse Fläche, so sehe ich nur entweder Roth oder Blau. Welches von beiden zum Uebergewicht kommt hängt von der Beleuchtung der Fläche ab: ist diese sehr intensiv beleuchtet, so sehe ich Roth, ist die Beleuchtung weniger stark, so sehe ich Blau. Bei einer mittleren Beleuchtung wechseln leicht beide Farben mit einander ab in Folge von Bewegungen der Augen. Dabei wird der Farbenton desjenigen Eindrucks, der zum Uebergewicht gelangt, nur etwas abgedämpft. Die Farbe erscheint weniger hell, als wenn man das Auge vor dem andersfarbigen Glase schliesst. Diese Dämpfung ohne jede Spur einer Mischung lässt sich vielleicht auf einen binokularen Helligkeitscontrast zurückführen, demjenigen analog, der im paradoxen Versuch stattfindet. Man kann den Versuch mit demselben Resultat durch Combination von Roth und Grün, Blau und Grün, Gelb und Blau u. s. w. anstellen, kurz mit allen Gläsern, deren Farbe von erheblicher subjectiver Verschiedenheit ist. Dagegen treten, ähnlich wie bei der Vereinigung farbiger Objecte, allerdings Mischungserscheinungen auf, wenn man die Farbe der Gläser sehr ähnlich nimmt, z. B. Roth und Violett, Blau und Violett, Gelb und Orange

Doch scheint es mir, dass hier, bei unbegrenzten Farbeneindrücken, immerhin die Mischung weniger leicht erfolgt, als bei der Combination begrenzter Objecte. — Nochmals muss ich zu den obigen Versuchen die Bemerkung fügen, dass die Regel des constanten Ausbleibens von Glanz sowohl als Mischung bei der Einwirkung verschiedenfarbigen diffusen Lichtes auf beide Augen nur dann Gültigkeit hat, wenn die Fläche, auf die man blickt, im strengsten Sinne gleichmässig und unbegrenzt für das Auge ist. Die kleinste Beschattung oder Contour, die auf ihr merklich ist, wird zur Ursache, dass an der betreffenden Stelle Glanz auftritt, der sich eine Strecke über sie hinaus verbreitet, oder dass die beiden Farben, wenn sie auch nicht wirklich sich mischen, so doch fleckenweise mit einander abwechseln.

Wir haben beim paradoxen Versuch denselben Fall in Bezug auf Helligkeitsgrade vor uns, den wir eben in Bezug auf Farbenunterschiede erörtert haben. So wenig diffuses rothes Licht im einen Auge mit diffusem blauem im andern Auge sich mischt, ebenso wenig mischen sich Hell und Dunkel. Das Schwarz des geschlossenen Auges wird daher gänzlich vernachlässigt und nur das Licht des offenen Auges kommt zur Wahrnehmung. Lassen wir aber zu dem verdunkelten Auge allmälig mehr Licht zu, so tritt derselbe Erfolg ein, den wir erhalten, wenn wir die verdrängte Farbe allmälig der verdrängenden ähnlicher machen. Es tritt Mischung ein, die jedoch Anfangs nur unvollständig ist, weil der Eindruck des hellen Anges immer noch bedeutend dominirt; die Mischung wird um so vollständiger, je weiter wir mit der Erhellung des verdunkelten Auges fortfahren, und es tritt naturgemäss ein Grenzpunkt ein, wo die Mischung so vollständig ist, dass weiterer Lichtzutritt zum dunkleren Auge das gemeinsame Gesichtsfeld nicht mehr verdunkelt, sondern zu erhellen beginnt.

Man könnte leicht versucht sein zu vermuthen, dass der Contrast der Helligkeit des einen Auges zur Dunkelheit des andern beim paradoxen Versuch mitwirke: dieser Contrast ist um so bedeutender, je grösser der Helligkeitsunterschied ist, es müsste daher in Folge desselben, wie auch dem wahren Resultat entspricht, mit steigender Erhellung des dunkleren Auges die Helligkeit des Gesichtsfeldes abnehmen. Aber es würde aus diesem Contrast nicht mehr erklärt werden können, warum bei noch weiterem Lichtzutritt die Erhellung wieder zunimmt, und es würde endlich nach jener Hypothese zu erwarten sein, dass wir mit einem Auge viel heller sehen als

mit zweien, was keineswegs der Fall ist. Der paradoxe Versuch ist daher unter die früher erörterten Mischungserscheinungen einzureihen. Es sind bei ihm die Bedingungen so gestellt, dass niemals Glanz auftreten kann, und dass dabei zugleich die Helligkeitsempfindungen beider Augen alle Stufen der Verschiedenheit durchwandern. Es findet sich daher bei diesem Versuch nur der Wechsel zwischen zwei Erfolgen: zwischen dem alleinigen Vortreten der helleren Empfindung und der Mischung beider Empfindungen mit einander. Da aber die Helligkeitssteigerung des verdunkelten Auges successiv geschieht, so ist jener Wechsel kein plötzlicher, sondern ein continuirlicher, die Mischung ist bei der Stufe, wo sie zuerst auftritt, noch keine vollständige, sondern es steht immer noch der hellere Eindruck im Uebergewicht. Die Umkehr des Erfolges beginnt erst von dem Punkte an, wo bei einer bestimmten Steigerung des Lichtes die Helligkeitszunahme grösser ist als die Mischungszunahme, und von hier an steigt die Helligkeit des Gesichtsfeldes bis zu dem Punkte, wo beide Augen mit Licht von gleicher Intensität gereizt werden: dann ist das gemeinsame Sehfeld genau ebenso erleuchtet, wie vorher das Sehfeld des einzelnen Auges.

3. Ueber den Wettstreit der Wahrnehmungen.

Unter diesem Titel soll hier eine Reihe von Erscheinungen zusammengefasst werden, die sich zunächst an die stereoskopischen Erscheinungen anschliessen, in ihren Bedingungen aber sich von diesen dadurch wesentlich unterscheiden, dass zwar gleichfalls auf beiden Netzhäuten verschiedene Bilder entworfen werden, dass aber diese Bilder nicht perspectivische Projectionen eines und desselben körperlichen Gegenstandes sind. Die Versuchsbedingungen sind hier vielmehr solche, dass jedes Auge ein Object wahrnimmt, das von dem mit dem andern Auge wahrgenommenen Object eine beliebige Verschiedenheit zeigt, die sich nicht auf den verschiedenen Standpunkt der Auffassung eines äusseren Gegenstandes zurückführen lässt. Die Versuchsbedingungen sind daher immer derart, wie sie in der Natur niemals gegeben sein können; wir kommen bei diesen Versuchen in die eigenthümliche Lage, aus den Wahrnehmungen der einzelnen Augen eine binokulare Wahrnehmung combiniren zu sollen, während doch analoge Erfahrungen, nach denen die Bildung dieser Wahrnehmung vor sich gehen könnte, uns ganz und gar mangeln. So zeigen denn auch die Resultate dieser Versuche, dass bei ihnen der Vollzug der

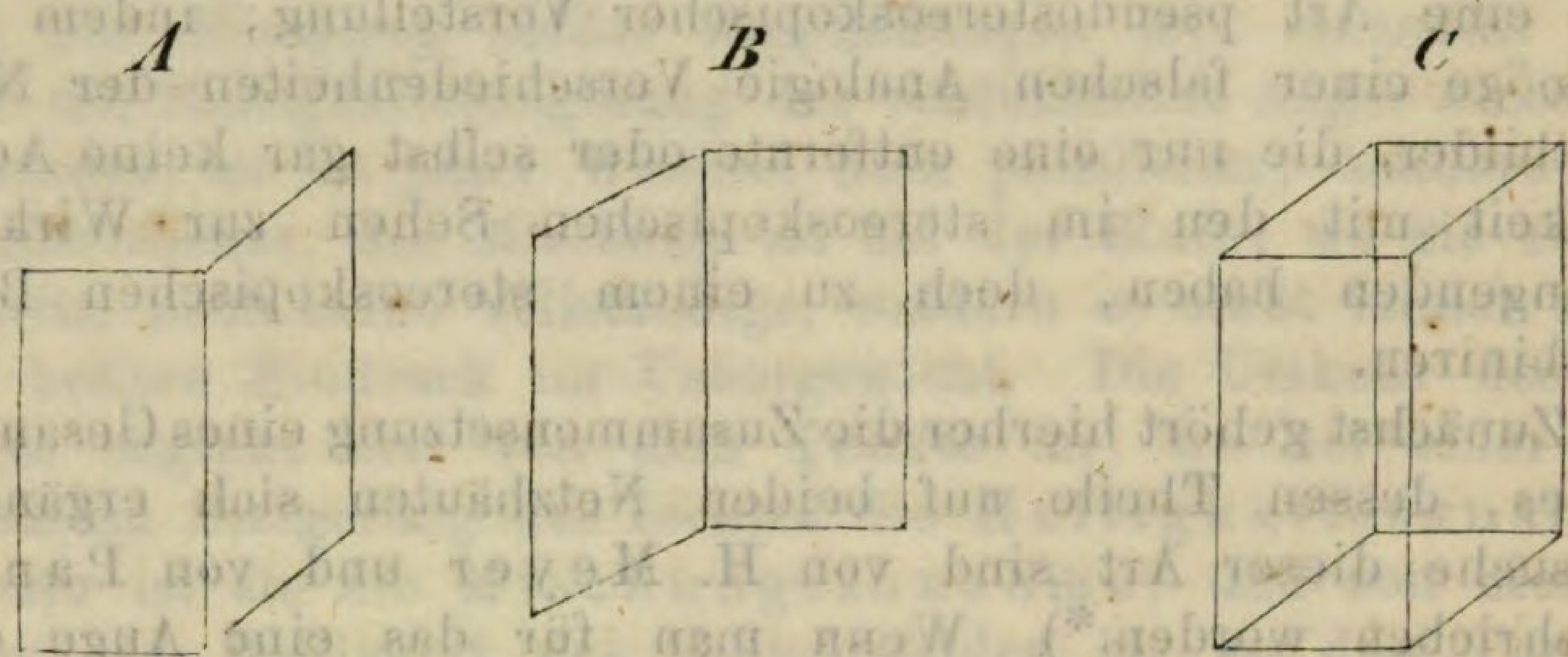
Wahrnehmung keineswegs mit der Sicherheit geschieht, wie bei der Combination stereoskopischer Bilder. In nicht seltenen Fällen gelingt nicht mehr als eine successive Perception der Netzhautbilder jedes einzelnen Auges, wo dann secundäre Momente über das Hervortreten der einzelnen Wahrnehmung entscheiden; vielfach entsteht ein combinirendes Einfachsehen nur dadurch, dass wir geringere Verschiedenheiten der beiden Netzhautbilder nicht bemerken; und häufig endlich bilden wir uns eine Art pseudostereoskopischer Vorstellung, indem wir vermöge einer falschen Analogie Verschiedenheiten der Netzhautbilder, die nur eine entfernte oder selbst gar keine Aehnlichkeit mit den im stereoskopischen Sehen zur Wirkung gelangenden haben, doch zu einem stereoskopischen Bilde combiniren.

Zunächst gehört hierher die Zusammensetzung eines Gesammtbildes, dessen Theile auf beiden Netzhäuten sich ergänzen. Versuche dieser Art sind von H. Meyer und von Panum beschrieben worden.*) Wenn man für das eine Auge eine beliebige Figur zeichnet, für das andere Auge ergänzende Theile zu derselben, also z. B. für das erste Auge ein Haus, für das zweite die Fenster oder die Thüre des Hauses, so setzen sich diese Bildtheile bei der stereoskopischen Combination ganz ebenso zusammen, als wenn sie blos einem monokularen Bilde angehörten. Auf ähnliche Weise lässt sich eine geometrische Figur aus ihren zwei Hälften zusammensetzen, von denen die eine auf die erste, die andere auf die zweite Netzhaut fällt. In diesem Fall tritt sehr deutlich hervor, dass, wenn beide Zeichnungen zusammen eine körperliche Figur bilden, die Vorstellung der Körperlichkeit nach der Combination äusserst lebhaft ist, so lebhaft wie bei dem wahren stereoskopischen Relief. Wir haben es hier mit einer pseudostereoskopischen Erscheinung zu thun. Auch beim stereoskopischen Sehen sind ja die Bilder, die beide Augen empfangen, verschieden, und aus dieser Verschiedenheit entsteht eben die Tiefenvorstellung. Dies wird nun auf die vorliegenden Versuche übertragen; obgleich in ihnen die Verschiedenheit der Netzhautbilder nicht eine solche ist, dass sich daraus eine Tiefenausdehnung des gesehenen Objectes ableiten lässt, so wird doch nach der Analogie der wahren stereoskopischen Versuche aus den Eindrücken der beiden Netzhäute ein Sammelbild hervorgebracht, bei welchem die Neigung vorherrscht eine Tiefenvorstellung auszubilden. —

*) S. Panum a. a. O. S. 25 u. f.

Ich will ein einziges Versuchsbeispiel hier anführen. Man combinire die Bilder A und B, Fig. 5, das erste auf der linken, das zweite auf der rechten Netzhaut. Man erhält eine Figur wie C, aber mit weit ausgebildeterer Tiefenvorstellung, so dass mit ihr verglichen C nur wie eine Flächenprojection erscheint.

Fig. 5.

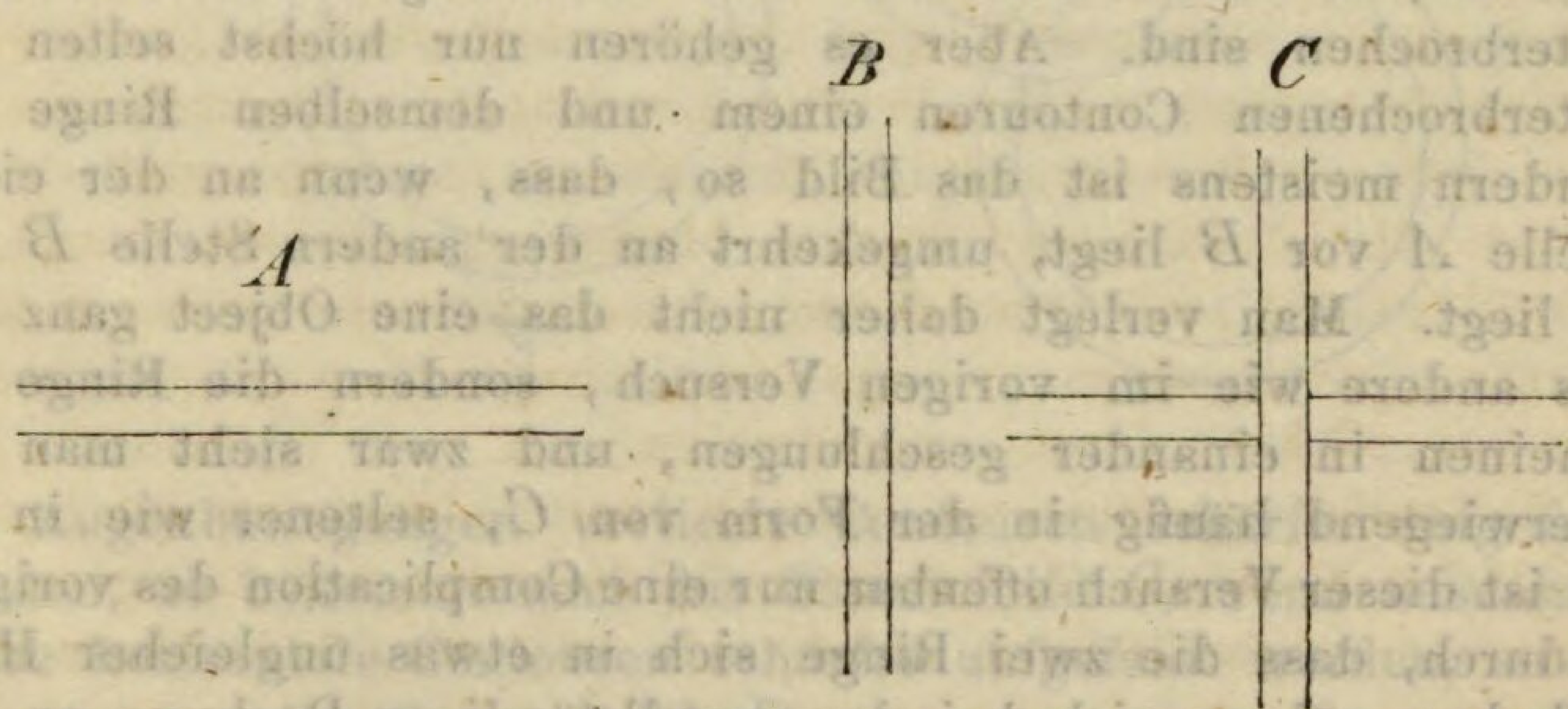


Diese Versuche gehen ohne Grenze in solche Fälle über, wo wir die zwei Netzhautbilder noch zu einem Sammelbild zusammensetzen, wo aber die Ausbildung einer Tiefenvorstellung gar nicht mehr möglich ist. So also bei der Zusammensetzung einer flächenhaften geometrischen Figur aus ihren Theilen, wie z. B. eines Vierecks aus zwei Dreiecken u. s. w., oder bei der Zusammensetzung von Buchstaben aus ihren Theilen, wie z. B. *F* und *L* sich zu *E* combiniren lassen, oder auch bei der Zusammensetzung complicirterer Flächenzeichnungen. Doch bleibt bei den letzteren, sobald nur in der Zeichnung eine entfernte Reliefandeutung gegeben ist, immer die Neigung zur Ausbildung der stereoskopischen Vorstellung vorhanden. Setzt man z. B. eine Landschaft zusammen, indem man dem einen Auge Bilder von Häusern, dem andern Auge Bilder von Bäumen und Bergen bietet, so ist immer im Gesammtbild die Tiefenvorstellung viel stärker als in den Einzelbildern, wenn auch in der Zeichnung an sich zu diesem Unterschied kein Grund gegeben ist.

Es wirkt hierbei zur Hebung der Tiefenvorstellung vielleicht die bekannte Thatsache mit, dass wir Zeichnungen, die körperliche Gegenstände vorstellen, mit einem Auge weit plastischer sehen als mit zweien, da uns das binokulare Sehen namentlich bei näherer Betrachtung sehr bald die Illusion durch die genauere Schätzung der relativen Entfernung und durch das Fehlen des stereoskopischen Effectes zu zerstören

pflegt. Bei den pseudostereoskopischen Erscheinungen wird nun jedem Auge ein verschiedenes Bild geboten, und in jedem dieser Bilder ist jener monokulare Tiefeneffect wirksam. Aber dabei ist doch zu beachten, dass erst durch die Combination der beiden Bilder die Tiefenvorstellung ihre bestimmte Richtung erhalten kann. Wenn wir in der obigen Fig. 5 die Bilder *A* und *B* einzeln monokular betrachten, so sind wir geneigt, jedes derselben plastisch zu sehen, aber es bleibt dabei ganz unbestimmt, ob die mittlere Kante nach vorn oder nach hinten geht, ob also das Bild erhaben oder vertieft ist, und es wechseln daher meistens beide Vorstellungen mit einander ab. Dagegen ist die Vorstellung alsbald fixirt, wenn wir die Bilder binokular combiniren, und zugleich hebt sich das Relief bedeutend stärker als bei der monokularen Betrachtung. Hierin liegt schon ein Beweis dafür, dass wir es nicht blos mit einer monokularen Illusion zu thun haben, sondern dass in der That die Gewohnheit des stereoskopischen Sehens mit beiden Augen vom wesentlichsten Einflusse ist. Man kann übrigens mit demselben Rechte der monokularen Illusion auf die wahren stereoskopischen Erscheinungen einen Einfluss zugestehen. Auch bei diesen mag zuweilen die monokulare Illusion mitwirken, ihre Richtung wird aber immer die Vorstellung erst durch die Combination der Bilder erhalten. Ein noch stärkerer Beweis aber liegt in der Thatsache, dass wir geneigt sind, selbst Netzhautbilder zu einem stereoskopischen Relief binokular zu vereinigen, deren monokulare Theile keine Tiefenillusion zulassen, wie dies aus den folgenden Versuchen hervorgeht.

Fig. 6.



Man zeichne, Fig. 6, als Object für das eine Auge zwei horizontale Linien, *A*, als Object für das andere Auge zwei

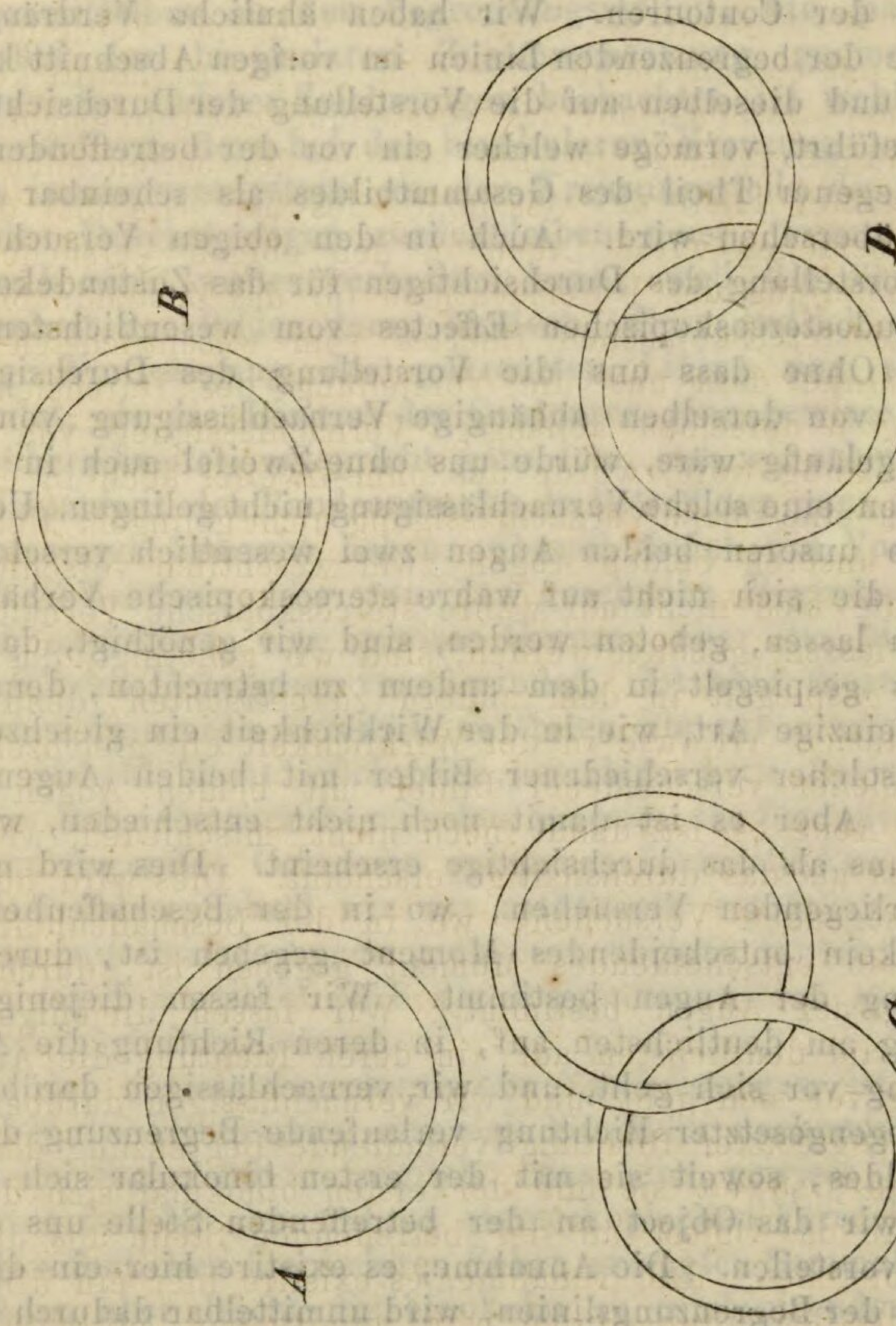
verticale Linien, *B*, beide von nicht zu grossem und nahezu gleichem Abstand. Bei der Vereinigung erhält man ein Bild *C*, an dem die Kreuzungsstelle unvollständig ist, indem entweder der verticale Balken vor dem horizontalen, oder der horizontale Balken vor dem verticalen zu liegen scheint, und daher entweder das Bild *A* oder das Bild *B* an der betreffenden Stelle unterbrochen wird. Im Allgemeinen zeigen sich viel häufiger die horizontalen Linien unterbrochen, wie auch Panum, der diesen Versuch schon anführte, bemerkt hat.*) Uebrigens hängt das Unterbrochenwerden der einen oder andern Contouren von der Bewegung unserer Augen ab: ununterbrochen sehen wir diejenigen Contouren, in deren Richtung wir die Augen bewegen; wir können daher abwechselnd den einen oder andern Theil der Kreuzungsstelle hervortreten lassen, wenn wir zwischen dem Object und dem Auge einen Gegenstand abwechselnd in verticaler und in horizontaler Richtung hin und her bewegen: bei der verticalen Bewegung verschwinden an der Kreuzungsstelle die horizontalen Contouren, bei der horizontalen Bewegung verschwinden umgekehrt die verticalen Contouren. Wir haben nun offenbar eine grössere Tendenz zu verticaler Augenbewegung, es herrschen daher beim gewöhnlichen Sehen meistens die verticalen Contouren vor, und es fällt uns auch schwerer dieselben zum Verschwinden zu bringen.

Ganz ähnlich, aber als pseudostereoskopische Erscheinung noch beweisender ist folgender Versuch. Man zeichne zwei Ringe *A* und *B*, die in etwas verschiedener Höhe gelegen sind, Fig. 7, und combinire dieselben so, dass sie sich nicht vollständig decken. Man bekommt dann ein Sammelbild *C* oder *D*, in welchem an den zwei Kreuzungsstellen Contouren unterbrochen sind. Aber es gehören nur höchst selten die unterbrochenen Contouren einem und demselben Ringe an, sondern meistens ist das Bild so, dass, wenn an der einen Stelle *A* vor *B* liegt, umgekehrt an der andern Stelle *B* vor *A* liegt. Man verlegt daher nicht das eine Object ganz vor das andere wie im vorigen Versuch, sondern die Ringe erscheinen in einander geschlungen, und zwar sieht man sie überwiegend häufig in der Form von *C*, seltener wie in *D*. Es ist dieser Versuch offenbar nur eine Complication des vorigen. Dadurch, dass die zwei Ringe sich in etwas ungleicher Höhe befinden, nähern sich bei der unvollständigen Deckung an der oberen Kreuzungsstelle die Contouren des oberen Ringes mehr

*) Panum, a. a. O. Seite 33.

der verticalen Richtung, an der unteren Kreuzungsstelle nähern sich dieser mehr die Contouren des unteren Ringes. Wenn daher, wie meistens, wegen der gerade vorhandenen Tendenz

Fig. 7.



der Augenbewegungen verticale Contouren schärfer aufgefasst werden, so bekommt man das Sammelbild *C*, wenn ausnahmsweise horizontale Contouren schärfer aufgefasst werden, so bekommt man das Sammelbild *D*.

Wir müssen die eben an einigen Versuchsbeispielen erläuterten Erscheinungen als pseudostereoskopische bezeichnen, weil bei ihnen in Folge der binokularen Combination der

Bilder ein dem stereoskopischen analoges Sehen, d. h. ein Verlegen einzelner Theile des Gesammtbildes vor oder hinter andere, stattfindet, ohne dass für diese räumliche Scheidung in etwas anderem als in einer von dem stereoskopischen Sehen entnommenen falschen Analogie sich der wesentliche Grund finden liesse. Man hat diesen Grund gesucht in einem directen Einfluss der Contouren. Wir haben ähnliche Verdrängungseinflüsse der begrenzenden Linien im vorigen Abschnitt kennen gelernt und dieselben auf die Vorstellung der Durchsichtigkeit zurückgeführt, vermöge welcher ein vor der betreffenden Contour gelegener Theil des Gesammtbildes als scheinbar durchsichtig übersehen wird. Auch in den obigen Versuchen ist diese Vorstellung des Durchsichtigen für das Zustandekommen des pseudostereoskopischen Effectes vom wesentlichsten Einflusse. Ohne dass uns die Vorstellung des Durchsichtigen und die von derselben abhängige Vernachlässigung von Bildtheilen geläufig wäre, würde uns ohne Zweifel auch in diesen Versuchen eine solche Vernachlässigung nicht gelingen. Ueberall aber wo unseren beiden Augen zwei wesentlich verschiedene Bilder, die sich nicht auf wahre stereoskopische Verhältnisse beziehen lassen, geboten werden, sind wir genöthigt, das eine Bild als gespiegelt in dem andern zu betrachten, denn dies ist die einzige Art, wie in der Wirklichkeit ein gleichzeitiges Sehen solcher verschiedener Bilder mit beiden Augen vorkommt. Aber es ist damit noch nicht entschieden, welches Object uns als das durchsichtige erscheint. Dies wird nun in den vorliegenden Versuchen, wo in der Beschaffenheit der Bilder kein entscheidendes Moment gegeben ist, durch die Bewegung der Augen bestimmt. Wir fassen diejenige Begrenzung am deutlichsten auf, in deren Richtung die Augenbewegung vor sich geht, und wir vernachlässigen darüber die in entgegengesetzter Richtung verlaufende Begrenzung des andern Bildes, soweit sie mit der ersten binokular sich deckt, indem wir das Object an der betreffenden Stelle uns durchsichtig vorstellen. Die Annahme, es existire hier ein directer Einfluss der Begrenzungslinien, wird unmittelbar dadurch widerlegt, dass die Verdrängung eben nur so weit stattfindet, als jene Vorstellung dazu nöthigt. An der äusseren Seite der parallelen Contouren werden z. B. die gekreuzten Linien nur eine fast unmerkliche Strecke weit ausgelöscht, während die Annahme eines directen Contoureneinflusses forderte, dass dieselben mindestens so weit auf jeder Seite ausgelöscht würden als die halbe Entfernung der verdrängenden Linien beträgt. Wenn man die letztere Entfernung über eine gewisse Grenze

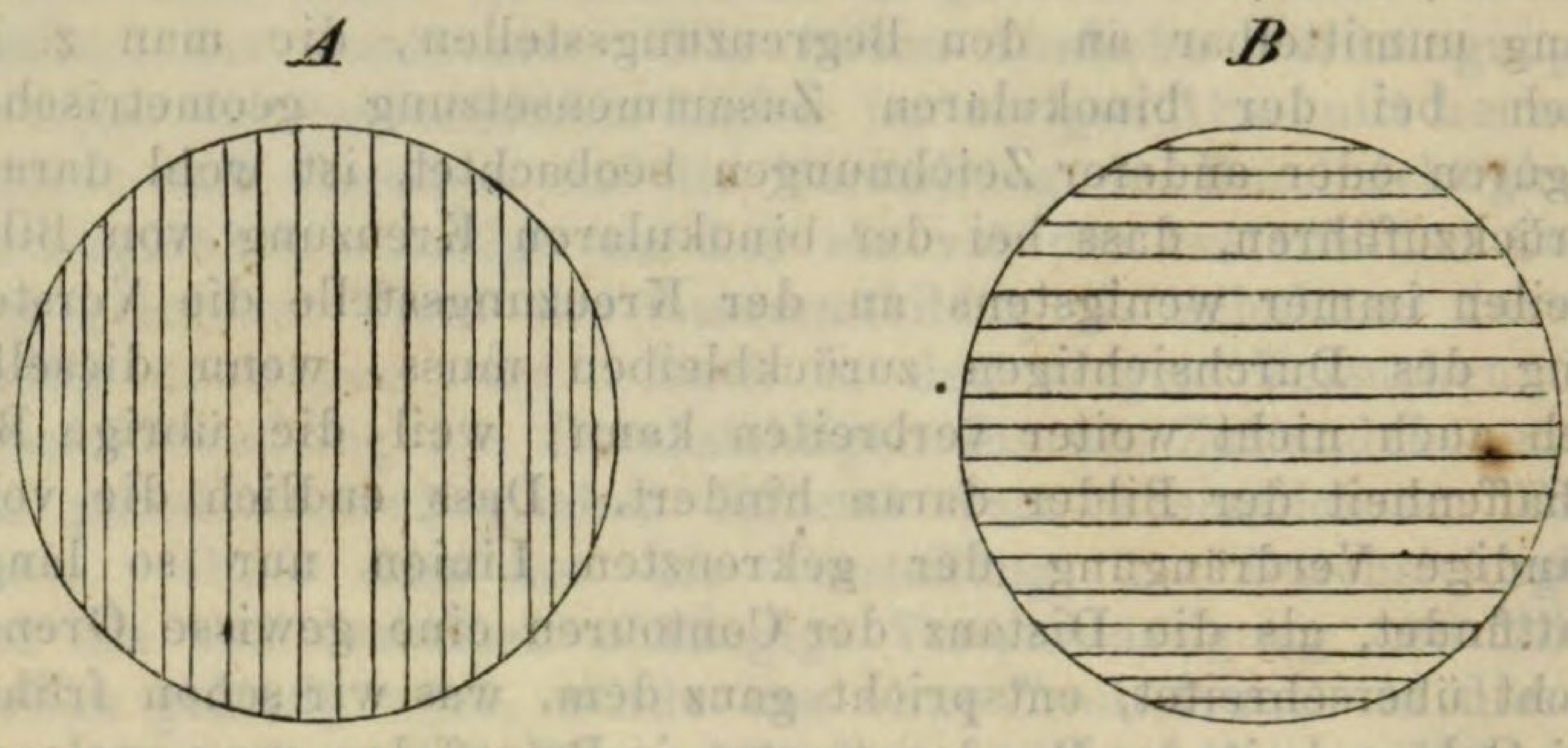
nimmt, so hört die Verdrängung allerdings auf, aber sie hört plötzlich auf und nicht etwa allmälig, indem erst nur ein kleines Stück in der Mitte des Zwischenraumes auftaucht; sobald die Verdrängung aufhört, bleibt an der Innenseite der Contouren nur ein eben solches unmerklich kleines Stück ausgelöscht wie an ihrer Aussenseite. Diese schwache Verdrängung unmittelbar an den Begrenzungsstellen, die man z. B. auch bei der binokularen Zusammensetzung geometrischer Figuren oder anderer Zeichnungen beobachtet, ist wohl darauf zurückzuführen, dass bei der binokularen Kreuzung von Bildtheilen immer wenigstens an der Kreuzungsstelle die Vorstellung des Durchsichtigen zurückbleiben muss, wenn dieselbe sich auch nicht weiter verbreiten kann, weil die übrige Beschaffenheit der Bilder daran hindert. Dass endlich die vollständige Verdrängung der gekreuzten Linien nur so lange stattfindet, als die Distanz der Contouren eine gewisse Grenze nicht überschreitet, entspricht ganz dem, was wir schon früher bei Gelegenheit des Randcontrastes in Betreff der ganz analogen Erscheinungen bemerkt haben: überall findet die Vorstellung des Durchsichtigen, die von der gesehenen Begrenzungslinie an sich ausbreitet, eine gewisse Grenze, über die hinaus sie in allmäligem Uebergang verschwindet. Ist aber diese Grenze in unsern Versuchen erreicht, so treten die zuvor verdrängten Linien alsbald nicht stückweise, sondern ganz hervor, weil wir uns ihrer Continuität mit den jenseits des Zwischenraumes der verdrängenden Contouren gelegenen Linienstücken bewusst sind und daher, sobald wir uns nicht mehr vorstellen können, dass die mit beiden Augen gesehenen Objecte hinter einander liegen, im Sammelbild auch die Begrenzungslinien zusammenhängend erscheinen müssen.

Bei den pseudostereoskopischen Erscheinungen ist immerhin noch die Vereinigung der sich binokular deckenden Bilder zu einem Sammelbilde möglich, das eine gewisse Analogie zeigt mit den bei den wahren stereoskopischen Versuchen und beim gewöhnlichen binokularen Sehen erzeugten Sammelbildern. Man kann aber leicht die binokular zu combinirenden Bilder so construiren, dass auch eine solche nur entfernte Analogie nicht mehr möglich ist. Hierbei muss nun unterschieden werden, ob die beiden Bilder vollkommen different oder sich ähnlich sind.

Bei der Combination ganz verschiedener Objecte findet es sich fast immer, dass Begrenzungslinien des einen von Begrenzungslinien des andern gekreuzt werden, und dass sich in Folge dessen pseudostereoskopischer Effect einmischt, ja

dieser wird leicht so bedeutend, dass er die ganze Erscheinung beherrscht. Wenn man z. B. die Objecte *A* und *B*, Fig. 8, binokular combinirt, so hat man nur eine Häufung des in dem

Fig. 8.



Versuch Fig. 6 hervorgerufenen Erfolgs. Aber doch wird gerade in Folge der Häufung das Resultat etwas anders, als sich unmittelbar erwarten liesse. Man kann allerdings auch hier, indem man die Augenbewegungen beeinflusst, abwechselnd die verticalen und die horizontalen Contouren zum Vorherrschen bringen. Es wird dann, wenn man einen Gegenstand in verticaler Richtung rasch vor einem Auge bewegt, nur das Object *A* gesehen, wenn man den Gegenstand in horizontaler Richtung bewegt, wird nur das Object *B* gesehen, denn es ist hier durch die Anlegung der Zeichnung bewirkt, dass der Verdrängungseffect sich auf das ganze Object ausdehnt. Aber bei gewöhnlichem ruhigem Betrachten ist dies doch nicht der Fall, sondern man sieht dann immer stellenweise die horizontalen, und stellenweise die verticalen Linien im Sammelbilde hervortreten, die letzteren meistens in der unmittelbaren Umgebung des fixirten Punktes, die ersteren in der weiteren Peripherie des Sehfeldes.

Um diese Effecte ganz aus dem Spiel zu lassen, muss man Bilder combiniren, die in ihrer Totalität sich decken, während ihre einzelnen Theile im Sammelbild neben einander zu liegen kommen. Man beobachtet dann keineswegs, dass das Sammelbild immer aus den Einzelbildern sich mosaikartig zusammensetzt, sondern es herrscht stets die Neigung vor, das eine Bild über das andere zu vernachlässigen. Man combinire z. B. die Bilder *A* und *B* in Fig. 9. Man bekommt entweder ein

aus A und B gemischtes Sammelbild, oder man sieht blos A oder blos B, Das gemischte Sammelbild kann man nie längere Zeit festhalten, immer haben entweder die vertical schraffirten oder die horizontal schraffirten Sectoren die Neigung zu verschwinden, und zwar verschwindet wieder das

Fig. 9.

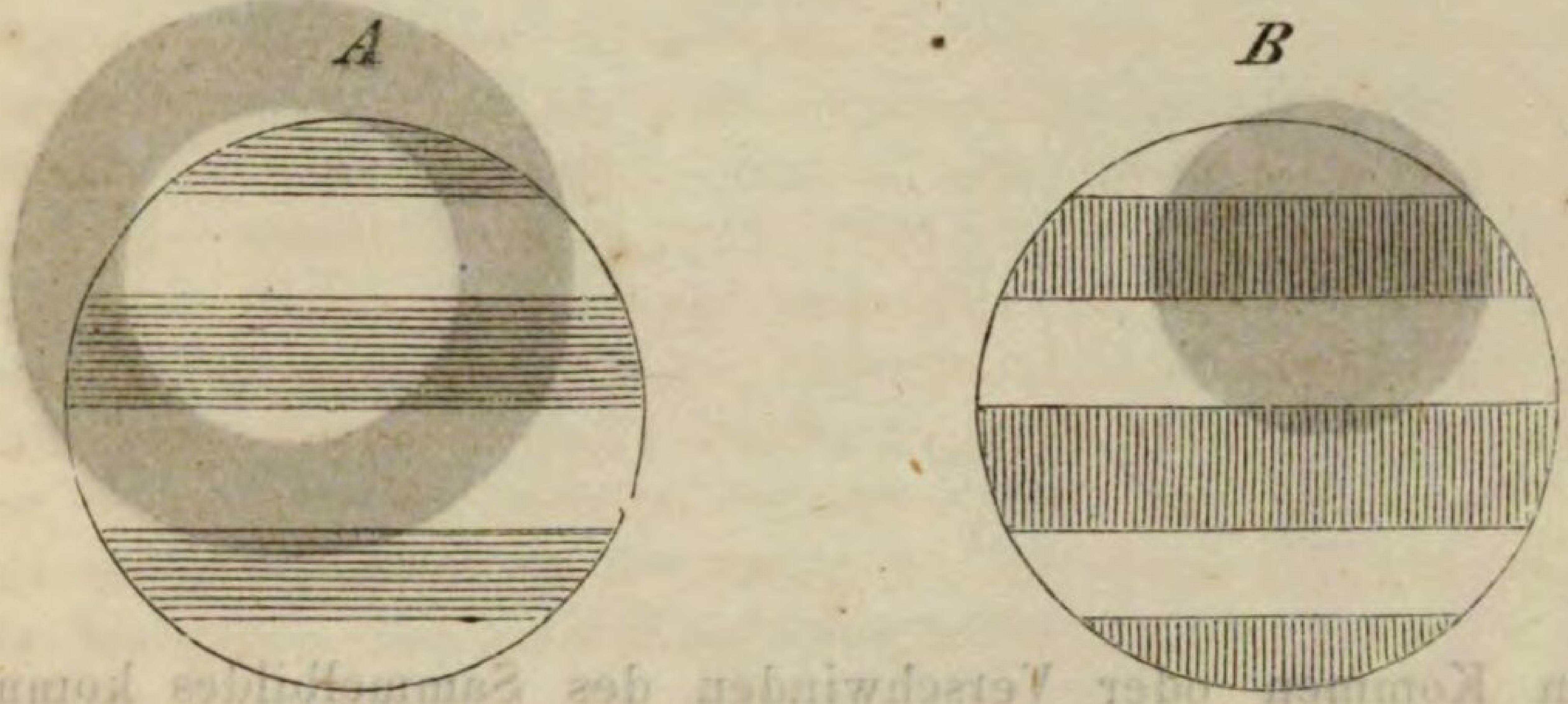
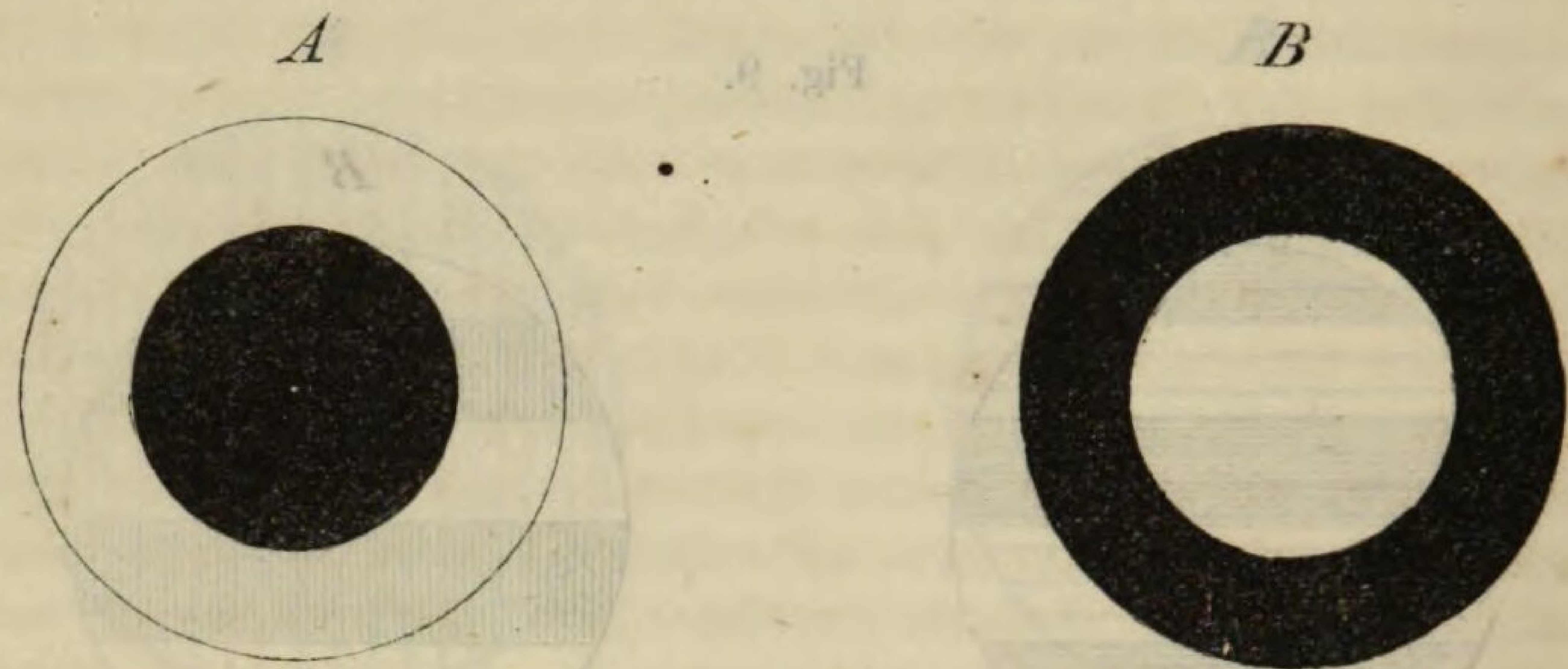


Bild A mit den horizontalen Strichen leichter als das Bild B mit den verticalen Strichen. Wenn das eine Bild verschwindet, so verschwindet es immer in allen seinen Theilen nahezu gleichzeitig. Man bemerkt wohl, dass die Sectoren der einen Richtung nicht in einem Moment sondern allmälig abblassen, wobei einige Striche kurze Zeit noch stehen bleiben, während andere verschwunden sind. Aber niemals gelingt es, den einen Sector eines Bildes im Sammelbilde festzuhalten, während die anderen Sectoren desselben verschwunden sind. Wir können in diesem Fall stets nur das Bild entweder als Ganzes in die Vorstellung hereinziehen, oder wir müssen es vollständig aus der Vorstellung auslassen.

Es lässt sich diese Thatsache noch durch mannigfache Versuche belegen; ich will nur ein einziges Beispiel hier noch anführen, in welchem man ein sicheres Maass für das Wechseln des Sammelbildes mit den Einzelbildern in dem auftretenden und verschwindenden Glanze hat. A und B Fig. 10 sind zwei gleich grosse Kreise, in A ist die Peripherie weiss gelassen und das Centrum geschwärzt, in B ist das Centrum weiss gelassen und die Peripherie geschwärzt. Combinirt man beide Bilder, so sieht man entweder nur A oder nur B, oder man sieht das Sammelbild und dieses Sammelbild glänzend. Niemals bekommt man aber etwa eine weisse Peripherie und ein glänzendes Centrum, oder ein weisses Centrum und eine

glänzende Peripherie, d. h. niemals erhält man ein theilweises Sammelbild, sondern stets betheiligen sich entweder alle Theile eines Einzelbildes an demselben oder keiner. Nur

Fig. 10.



beim Kommen oder Verschwinden des Sammelbildes kommt es vor, dass strichweise sich noch etwas Glanz zeigt, während die übrige Fläche schon abgeblasst oder dunkel geworden ist, aber auch hier kann man diese Erscheinung niemals fixiren, sie wird nie zu einem ruhenden Bilde, sondern sie ist nur der Ausdruck des allmäligen Kommens oder Gehens der Vorstellung.

Es beweisen diese Versuche, dass, wenn wir nicht aus der Beschaffenheit der gesehenen Bilder einen Grund entnehmen können zur Erzeugung eines Sammelbildes, sei es dass dieser Grund in der wahren stereoskopischen Beschaffenheit der Bilder, oder sei es, dass er nur in einer entfernten Analogie mit derselben liegt, wir zwar gleichfalls häufig noch ein Sammelbild hervorbringen, aber dass dieses keineswegs nothwendig und dauernd geschieht, sondern dass dann immer die Einzelbilder beider Augen eine Tendenz besitzen sich allein zur Vorstellung zu drängen. Dabei drängen sich aber diese Einzelbilder nicht in ihren einzelnen Theilen, nicht durch eine mosaikähnliche Ausfüllung des gemeinsamen Sehfeldes zur Vorstellung, sondern immer als Ganze, indem entweder ein einzelnes ganz, oder beide zusammen in ihrer Totalität zur Erscheinung kommen. Wir folgen auch hier noch der gewohnten binokularen Combination, die uns stets aus den Bildern beider Augen eine Sammelvorstellung erzeugen lässt, wir folgen ihr, trotzdem in der Beschaffenheit der Bilder derselben in diesem Fall ein unlösbarer Widerspruch mit den gewohnten

Gesetzen des Sehens mit zwei Augen gelegen ist, ein Widerspruch, der nicht einmal wie bei den pseudostereoskopischen Erscheinungen durch eine ganz entfernte und unrichtige Analogie sich ausgleichen lässt. Die einzige Analogie, an der wir auch hier noch festhalten, ist nicht den gesehenen Objecten entnommen, sondern sie liegt nur im binokularen Sehen selber, sie liegt nur darin, dass wir durch den fortgesetzten Zwang der äusseren Wahrnehmung genöthigt sind, die Bilder beider Augen zu einem Sammelbilde zu vereinigen. Aber dabei geht dieser Zwang, weil er eben nur in psychischen Gesetzen begründet ist, nicht so weit, dass er uns den Widerspruch, der in den Bildern selber gegen ihre Combination gelegen ist, übersehen liesse. Es drängt sich vielmehr dieser Widerspruch stark hervor und findet seinen Ausdruck in dem fortwährenden Kampf der Einzelbilder, in welchem jedes derselben sich allein zur Vorstellung zu drängen strebt. Hier erst haben wir es mit einer Erscheinung zu thun, die man mit einigem Recht als Wettstreit der Sehfelder bezeichnen könnte, während alle übrigen Phänomene, die man früher unter diesem Titel begriffen hat, nur mit Unrecht jenen Namen trugen, wie aus unseren früheren Auseinandersetzungen, in welchen die betreffenden Erscheinungen gehörigen Orts abgehandelt sind, leicht ersichtlich ist. Aber selbst bei den hier in Betracht kommenden Wettstreitsphänomenen handelt es sich keineswegs etwa um einen inneren Kampf der Vorstellungen, auf welchen äussere Momente ohne jeden Einfluss bleiben. Es lässt sich insbesondere nachweisen, dass auch hier den Augenbewegungen auf den Wechsel der Einzelbilder ein wesentlich bestimmender Einfluss zukommt, indem dasjenige Bild das Uebergewicht zu erlangen pflegt, in welchem die grössere Zahl der Begrenzungslinien der herrschenden Richtung der Augenbewegungen entspricht.

Häufig sind die Wettstreitsphänomene mit pseudostereoskopischen Erscheinungen verknüpft. Wenn einzelne Theile der beiden Bilder einander kreuzen, so beginnt der Wettstreit an diesen Kreuzungsstellen. Indem hier die Vorstellung des Durchsichtigen sich einmischt, können nie die zwei sich kreuzenden Bildtheile gleichzeitig gesehen werden, sondern immer verdrängt der eine den andern eine kleine Strecke über die Kreuzungsstelle hinaus. Man bekommt daher niemals ein vollständiges Mischungsbild, sondern einen steten Wettstreit, indem die Figur an jenen Kreuzungsstellen aus einander zu brechen beginnt. Man erhält diese Erscheinung sehr deutlich, wenn man verschiedene Buchstaben, deren Linien vielfach

sich kreuzen, wie z. B. *A* und *S*, stereoskopisch combinirt. Man sieht nie beide Buchstaben zusammen in vollständiger Deckung, sondern der eine bricht von den Kreuzungsstellen an aus einander, um dem andern Platz zu machen, sobald dieser vollständig ist, wiederholt sich an ihm dieselbe Erscheinung, u. s. f. — Schon Wheatstone*) hat diese Beobachtungen gemacht, und sie sind seitdem vielfältig bestätigt worden. Die Einen haben sie als einen Beweis dafür betrachtet, dass das gemeinsame Sehfeld sich nicht mosaikartig aus den Eindrücken der einzelnen Augen zusammensetzt, Andere haben darin nur ein Beispiel der eigenthümlichen Wirkung der Contouren gesehen. Die letztern sind allerdings hier von wesentlichem Einflusse, sie sind es, die — vermöge der Vorstellung des Durchsichtigen, die an die Contourenkreuzung der zwei Netzhautbilder geknüpft ist — erst ein gemeinsames Sehen in diesen Versuchen vollständig unmöglich machen, während dieses, wenn blos die Theile der Netzhautbilder sich neben einander fügen, wie wir sahen keineswegs ganz unmöglich ist, sondern, wenn gleich mit Widerstreben, häufig vollzogen wird. Bei der Combination ungleicher Buchstaben wird das Zusammensetzen durch die an den Kreuzungsstellen auftretende Verdrängung immerwährend unterbrochen. Diese Verdrängung muss sich auf das übrige Bild fortpflanzen, weil die beiden Netzhautbilder stets als Ganze zur Auffassung kommen, und weil in diesem Fall in keinem beider Bilder etwas enthalten ist, wodurch eine partielle Durchsichtigkeit möglich oder auch nur in einer entfernten Analogie mit den bisherigen Erscheinungen des binokularen Sehens erschiene.

Es bleibt uns als eine letzte Form der Zusammenfassung binokularer Wahrnehmungen noch diejenige zu betrachten übrig, wo die Netzhautbilder ebenfalls in einem Sinne verschieden sind, welcher den gewöhnlichen Gesetzen des binokularen Sehens widerspricht, wo aber diese Verschiedenheit eine sehr geringe ist und namentlich nicht das Wesentliche der Form trifft. Es gehört hierher die Combination geometrischer Figuren, die sich der Gleichheit annähern, von Parallellinien mit geringem Distanzunterschied, u. s. w. In allen diesen Fällen werden die einzelnen Bilder zu einem vollkommen dauernden gemeinsamen Bilde vereinigt, das in seiner Formbeschaffenheit genau die Mitte zu halten pflegt zwischen den Formen der Einzelbilder.

*) Poggendorff's Annalen, Bd. 51. Ergänzungsband. 1842. S. 33.

Zwei Kreise oder Vierecke von etwas ungleicher Grösse combiniren sich, wie bereits W h e a t s t o n e beobachtet hat, zu einer einzigen Figur. Auch einen Kreis und eine ihm sehr ähnliche Ellipse, ein Quadrat und ein wenig davon verschiedenes Rechteck kann man ebenso combiniren. Zwei horizontale Parallellinien jederseits von nicht zu grosser Entfernungsverschiedenheit geben ebenfalls ein einfaches Sammelbild, in welchem die Distanz der Parallellinien die mittlere ist zwischen den Distanzen in den Einzelbildern. In allen diesen Fällen geht übrigens die Möglichkeit der Combination nur bis zu einer gewissen ziemlich engen Grenze. Sobald man die Grösse der Figuren etwas verschiedener, die Entfernungen der Linien etwas bedeutender macht, so treten die Bilder aus einander, es kommt nur noch eine der Parallellinien oder eine Seite der Figuren zur Deckung, die anderen werden, wie es ihrem wahren Distanzunterschied entspricht, doppelt gesehen.

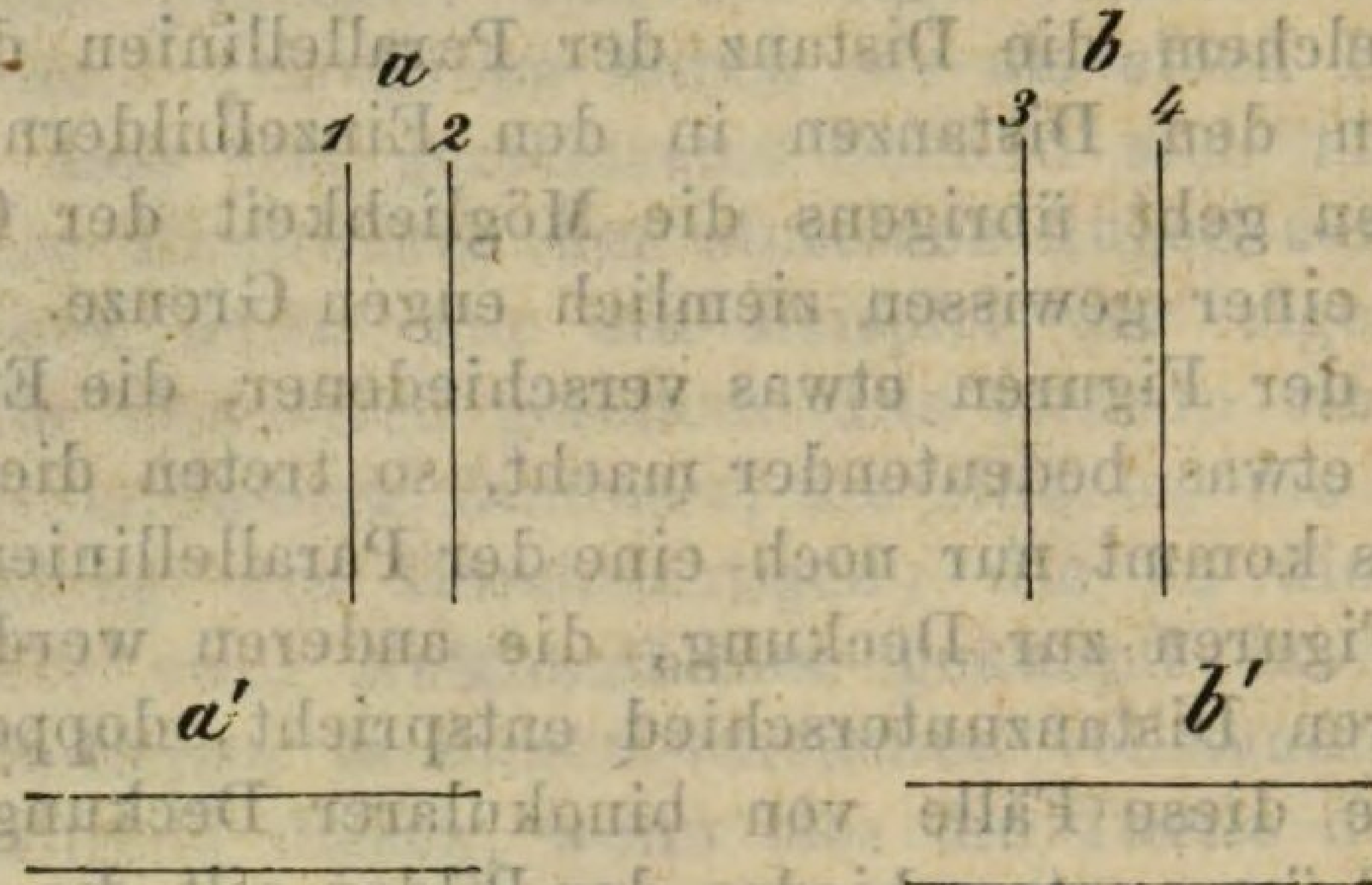
Für alle diese Fälle von binokularer Deckung trotz vorhandenen Grössenunterschiedes der Bilder gilt die Regel, dass die Verschiedenheit der Bilder bei weitem nicht so weit gehen darf wie bei der Combination wahrer stereoskopischer Bilder, wenn noch eine Vereinigung möglich sein soll. V o l k m a n n hat in dieser Beziehung interessante messende Versuche angestellt, in welchen er die Grösse des Distanzunterschiedes bestimmte, die parallele Linien bei verschiedener Neigung zum Horizont haben durften, wenn gerade noch Vereinigung derselben möglich war*). Die Verschiedenheit war am grössten, wenn die Linien vertical standen, sie wurde immer kleiner, je mehr sie sich zum Horizont neigten, und sie war am kleinsten, wenn die Linien horizontal lagen, so zwar, dass im ersten Fall die Grenzdistanz das fünf- bis achtfache des letzten Falles betrug. Diese Thatsache ist leicht zu erklären. Vereinigen wir die Objecte a und b, Fig. 11 (s. umstehende Seite), so bekommen wir ein stereoskopisches Bild, die aus 2 und 4 zusammengesetzte Linie liegt hinter der Ebene des Papieres. Vereinigen wir aber die Objecte a' und b', so ist keine stereoskopische Vorstellung möglich; es müsste auf den ersten Blick erwartet werden, dass ein Einfachsehen in diesem Fall gar nicht mehr möglich sei.

Man hat die Thatsache, dass trotz des Mangels der stereoskopischen Vorstellung hier Einfachsehen stattfindet, meistens auf eine Ungenauigkeit der Wahrnehmung zurückgeführt. Aber eine so beträchtliche Ungenauigkeit, wie sie hier angenommen

*) G r a e f e's Archiv für Ophthalmologie Bd. V. Abth. 2. S. 32 u. f.

werden müsste, widerspricht allen anderen Erfahrungen. Wenn es Ungenauigkeit der Wahrnehmung wäre, wie würden wir dann im Stande sein, sobald einmal Doppelbilder auftreten,

Fig. 11.



die Distanz dieser Doppelbilder so genau zu schätzen? Wir nehmen diese Distanz gerade so gut wahr wie im monokularen Sehen, im monokularen Sehen aber würden wir im Stande sein, noch um das Zehnfache kleinere Entfernungsverschiedenheiten wahrzunehmen, als in diesen Versuchen zur Anwendung kommen. Es kann ferner hier nicht die Rede davon sein, dass etwa blos ein Netzhautbild zur Auffassung gelangte, weil ja die Form des Sammelbildes deutlich zwischen den zwei Einzelbildern genau die Mitte hält.

Es ist aber bei der Erklärung dieser Beobachtungen ein Umstand bisher ausser Rücksicht gelassen worden. Ehe wir zu andern Erklärungsversuchen unsere Zuflucht nehmen, werden wir uns hier wie überall in diesem Gebiet zuerst zu fragen haben: findet sich nicht in Erscheinungen des gewöhnlichen binokularen Sehens eine Uebereinstimmung oder doch eine gewisse Analogie mit den bei den Versuchen in Frage kommenden Thatsachen? Kann es auch beim gewöhnlichen Sehen vorkommen, dass wir in beiden Augen Netzhautbilder von etwas verschiedener Grösse haben, die wir auf ein einfach gesehenes äusseres Object beziehen? Es ist in der That keinem Zweifel unterworfen, dass dieses Vorkommen ein sehr häufiges ist. Sobald ein Gegenstand von beiden Augen ungleich weit entfernt ist, sind die beiden Netzhautbilder von verschiedener Grösse, und erst wenn der Gegenstand etwas von einem Auge ab und dem andern zugedreht ist, werden sie auch von ver-

schiedener Form. Im ersten Fall haben wir einen reinen Grössenunterschied der Netzhautbilder, in dem keinerlei stereoskopische Beziehung gelegen ist, diese tritt erst im zweiten Fall zu dem Grössenunterschied hinzu. Wenn wir ein Object stark seitlich vom Angesicht halten, so aber, dass es noch mit beiden Augen fixirt werden kann, so können wir deutlich bei abwechselndem Schliessen des einen und des andern Auges die verschiedene Grösse, in der es jedesmal erscheint, wahrnehmen. Nichts desto weniger erscheint das Object mit beiden Augen gesehen einfach, und seine Grösse hält die Mitte zwischen den Einzelbildern. Ganz in entsprechender Weise beurtheilen wir nun Objecte von etwas verschiedener Grösse, die wir stereoskopisch combiniren. Aber auch hier ist die Analogie unserer Wahrnehmung eine falsche, denn das im Stereoskop combinirte Bild können wir nie auf einen stark seitlich gelegenen Gegenstand beziehen. Wir haben hier wieder einen Fall, wo durch die künstlichen Bedingungen des Versuchs ein Widerspruch mit den gewöhnlichen Gesetzen des binokularen Sehens gegeben ist, und wo wir diesen Widerspruch unbewusst auszugleichen bestrebt sind, indem wir uns zunächst an die Netzhautbilder und ihre Beurtheilung halten, während wir die nicht damit stimmenden Momente der Wahrnehmung übergehen.

Alle Thatsachen, die wir im Verlauf der Untersuchungen dieser Abhandlung kennen gelernt und zergliedert haben, drängen zu zwei Folgerungen hin, von denen die eine die Gesetze des binokularen Sehens speciell angeht, die andere auf die allgemeinen Gesetze der Vorstellungsthätigkeit ein Licht wirft. Als erste Folgerung nämlich ergiebt sich, dass das binokulare Sehen nicht als ein reines Summiren der Eindrücke beider Augen zu betrachten ist, dass nicht das gemeinsame Sehfeld sich durch directe Mischung der Erregungen correspondirender Netzhautstellen zusammensetzt. Jedes Auge vollzieht vielmehr einzeln seine Wahrnehmung, die beiden Wahrnehmungen wirken getrennt auf die Seele ein, und erst auf dem Wege psychischer Combination entsteht aus ihnen die vollendetere binokulare Gesichtswahrnehmung. Wie schon die Bildung der Wahrnehmung des einzelnen Auges auf einer Reihe psychischer Processe unbewusster Art beruhte, so ist auch die Bildung der binokularen Wahrnehmung nichts anderes als ein unbewusstes Schlussverfahren. Die Einzelwahrnehmungen werden benützt, um daraus Schlüsse zu bilden in Bezug auf die räumliche Ausdehnung und die damit zusammenhängende physische Beschaffenheit der gesehenen Gegenstände.

So ist es nicht blos die eigenthümliche Tiefenwahrnehmung, zu der mit Nothwendigkeit der binokulare Sehact hinführt, sondern es ist ausserdem die Vorstellung der Spiegelung und des Glanzes, die in ganz entsprechender gesetzmässiger Weise aus demselben hervorgeht. Wo aber selbst die Einzelwahrnehmungen sich nicht zu einer gemeinschaftlichen Wahrnehmung vereinigen lassen, da zeigen dieselben trotzdem einen gegenseitigen Einfluss, wie wir dies mit zahlreichen Beispielen binokularer Contrastphänomene belegt haben; doch auch dieser Einfluss lässt sich nicht zurückführen auf irgend welchen physischen Antagonismus, sondern lediglich auf eine Bestimmung des Urtheils von ähnlicher Art, wie sie auch den monokularen Contrasterscheinungen zu Grunde liegt.

Wir sind mit dieser Folgerung zur beweisenden Bestätigung eines Satzes gelangt, den wir bereits am Schlusse der vorangegangenen Abhandlung als nothwendig zur dort gegebenen Theorie der binokularen Tiefenwahrnehmung gefordert hingestellt hatten, des Satzes: dass die Wahrnehmung jedes Auges einzeln zur Auffassung kommt, dass aber im gemeinsamen Sehen durch einen psychischen Process beide Wahrnehmungen zu einem Ganzen verschmelzen. Wir haben jetzt erst auf einem ganz verschiedenen Untersuchungswege einen directen Beweis jenes Satzes gefunden.

Die zweite Folgerung aber, zu der die Untersuchung uns hindrängt, geht über das Gebiet der Gesichtswahrnehmungen hinaus, wenn gleich auch sie mit den Gesetzen des binokularen Sehens unmittelbar zusammenhängt. Es ergiebt sich nämlich weiter, dass wir niemals mehr als e i n e Gesichtsvorstellung gleichzeitig auszubilden im Stande sind. Die Urtheilsprocesse, die im Contrast und in der stereoskopischen Combination zu Tage treten, und die ohne ein gleichzeitiges Zusammenfassen differenter Wahrnehmungen sich nicht denken lassen, geschehen alle in der Unbewusstheit, denn was im Bewusstsein zu Tage tritt, ist nur das R e s u l t a t dieser Processe. Dieses Resultat ist aber immer eine einheitliche Vorstellung. Nie fassen wir die Wahrnehmungen beider Augen neben einander als einzelne im Bewusstsein auf: was in diesem steht ist immer ein einheitliches Ganze, von dessen Zusammensetzung wir nicht die geringste Kenntniss haben, die wir uns, wie hier geschehen ist, erst auf dem Wege wissenschaftlicher Untersuchung zu erschliessen vermögen. Es sind für diese Folgerung jene Fälle von besonderem Interesse, wo in dem Versuch beiden Augen Wahrnehmungen geboten werden, die nicht zu einer einheitlichen Vorstellung vereinbar sind. Wir haben gesehen, dass

hier theils ein Verfahren nach entfernten Analogien, theils ein eigenthümlicher Kampf des Vorstellens eintritt, die beide nur unter der Voraussetzung einer Einheit der Vorstellung sich erklären lassen, die das gleichzeitige Auffassen differenter Wahrnehmungen in dem Bewusstsein verbietet. Ja der ganze Process des binokularen Sehens stützt sich wieder nur auf diese Einheit der Vorstellung. Ohne sie würde ein solches Zusammenfassen der im Unbewussten nach fortan in derselben Weise sich wiederholenden Gesetzen combinirten Einzelwahrnehmungen zu einer einheitlichen und ungetrennten Vorstellung nicht denkbar sein. Würden sich immerwährend die Einzelvorstellungen gleichzeitig neben einander in unserm Bewusstsein bewegen, so würde es uns unmöglich sein, zusammenfassende Vorstellungen auszubilden, eben weil uns das nicht zu umgehende Vorstellen des Einzelnen daran hindern müsste. Wir würden uns in einem Chaos von Sensationen bewegen, in welchem selbst das Licht des Bewusstseins nicht Ordnung zu schaffen vermöchte, eben weil jenes Chaos mitten im Bewusstsein selber läge. Auch in dieser Hinsicht haben die unbewussten Seelenprocesse eine nicht genug zu würdigende Bedeutung. Sie sind es nicht blos, die aus den beziehungslosen Empfindungen Wahrnehmungen heranbilden, sondern die auch die unmittelbareren und einfacheren Wahrnehmungen selber wieder zu zusammengesetzteren verknüpfen und so Ordnung und System in das Besitzthum unserer Seele hineinbringen, noch ehe mit dem Bewusstsein in dieses Besitzthum jenes Licht gebracht ist, das es uns selber erst kennen lehrt. Unsere Seele ist so glücklich angelegt, dass sie die wichtigsten Fundamente der Erkenntniss uns bereitet, während wir von der Arbeit, mit der dies geschieht, nicht die leiseste Ahnung haben. Wie ein fremdes Wesen steht diese unbewusste Seele da, das für uns schafft und vorbereitet, um uns endlich die reifen Früchte in den Schooss zu werfen. Wir meinen Grosses zu leisten, indem wir diese weiter verarbeiten, und wir denken nicht daran, dass die Frucht erst aus dem Samenkorn hat entstehen müssen.

Sechste Abhandlung.

Ueber den psychischen Process der Wahrnehmung.

1. Ueber das Gemeingefühl.

Ueber keinen Gegenstand in der Physiologie der Sinne giebt es widersprechendere Ansichten als über jene Perceptionen, die man unter dem so genannten Gemeingefühl zusammenzufassen pflegt. Fast hat es den Anschein, als wäre dieser Name dazu gemacht, in der Theorie der Sinneswahrnehmung ungefähr dieselbe Rolle zu spielen, die so lange der Lebenskraft in der Physiologie zugetheilt war. In der That ist diese Vergleichung nicht eine äusserliche und zufällige: wenn man die physiologischen Arbeiten liest, die vor Johannes Müller geschrieben sind, so sieht man, dass in der damals allgemein angenommenen Hypothese von der Lebenskraft die Lehre vom Gemeingefühl ein nothwendiges Glied bildet. Das Gemeingefühl ist hier nichts Anderes als die besondere Aeusserung der Lebenskraft im Gebiete der Sinnlichkeit, es liegt in demselben unmittelbar das Bewusstsein des körperlichen Daseins im Ganzen und der Lebensthätigkeiten im Einzelnen, es wird daher das Gemeingefühl häufig geradezu als Lebensgefühl bezeichnet und als solches scharf von den äusseren Sinnesempfindungen geschieden, denn dieses Lebensgefühl bedarf eben nicht besonderer Sinnesorgane zu seiner Aufnahme, sondern es ist mit den Lebensprocessen von selber da. Wir

sehen hier im Gebiete der subjectiven Empfindungen denselben Fehler begehen, den die vitalistische Hypothese in der Auffassung der gesammten Lebenserscheinungen macht, den Fehler, dass sie ein verwickeltes Phänomen, statt es zu zergliedern, um es in seinen einzelnen ursächlichen Momenten zu begreifen, als ein unzerlegbares Ganzes betrachtet und daher auf eine einheitliche Ursache zurückführt.

Es ist bemerkenswerth, dass eine verwandte Auffassung des Gemeingefühls bei philosophischen Schriftstellern zum Theil bis in die neueste Zeit sich erhalten hat, und es hat den Anschein, als wenn die Ursache hiervon darin läge, dass die heutige philosophische Abstraction im Allgemeinen noch an einen Standpunkt der Naturwissenschaften anknüpft, der bereits überwunden ist. Man begegnet häufig der Ansicht, dass die Seele nicht bloss Empfindungen, Wahrnehmungen, Vorstellungen aufzunehmen vermöge, die ja schliesslich alle auf Empfindungseindrücke zurückgehen, sondern dass ihr auch ein unmittelbares Bewusstsein solcher körperlicher Processe zukomme, die gar nicht von Empfindungen begleitet sind. Ein ausgezeichneter Schriftsteller über Psychologie sagt: „Von allen unsern eigenen Bewegungen haben wir ein unmittelbares Bewusstsein und bedürfen dazu gar keiner sinnlichen Empfindungen, wir wissen, dass wir den Arm ausstrecken und die Füsse bewegen unmittelbar durch die Bewegung selbst, und Bewusstsein und Bewegung fallen schlechterdings zusammen.“ *) Diese Ansicht von einem unvermittelten Dasein der körperlichen Vorgänge im Bewusstsein, die hier auf die Muskelbewegungen beschränkt bleibt, ist nicht selten auch auf andere Körperprocesse ausgedehnt worden, es wird dadurch streng genommen das Gemeingefühl aufgehoben und demselben ein Gemeinbewusstsein substituirt. Von anderer Seite wird uns dagegen das Gemeingefühl definirt als das Resultat der Einwirkung aller sensibeln Nerven unseres Körpers auf das Gehirn: indem die Zustände sämmtlicher Nerven sich zur Perception drängen, soll eine in Bezug auf Oertlichkeit und Qualität durchaus unbestimmte Empfindung entstehen, die erst zur bestimmten Empfindung werde, wenn ein einzelner Eindruck über alle andere zum Uebergewicht kommt. Hier werden

*) George, Lehrbuch der Psychologie, Berlin 1854. S. 231. Diese Ansicht von dem unmittelbaren Bewusstwerden der eigenen Bewegung hat zuerst Trendelenburg vertreten und gegen die Annahme eines Bewegungsgefühls der Muskeln einige Gründe vorgebracht, auf die ich später eingehen werde. (Logische Untersuchungen, Berlin 1841, Bd. I. S. 203.)

also alle Sinnesempfindungen als Theile des Gemeingefühls aufgefasst, dieses kommt aber nur zu Stande, wenn jene sämmtlich oder in grosser Menge sich zur Perception drängen*).

So verschieden diese Ansichten in ihrer theoretischen Begründung sind, so kommen sie doch im Resultat wesentlich auf dasselbe hinaus: sie behaupten, dass in unserm Bewusstsein nicht bloss wechselnde Einzelempfindungen vorhanden seien, die durch die Eindrücke auf die einzelnen Sinnesorgane hervorgerufen werden, sondern dass wir ausserdem ein entweder unvermitteltes oder in einem eigenthümlichen Gefühl sich ausdrückendes Totalbewusstsein von dem Zustand unseres Körpers besässen. Es wird daher dieses Bewusstsein, in demselben Sinne wie es früher von physiologischen Schriftstellern geschehen ist, auch geradezu als Lebensgefühl bezeichnet, und es wird so an die Stelle einer Erklärung ein Name gesetzt, der nichts als eine noch fragliche Thatsache ausdrückt, und dessen Bedeutung für die Theorie der Sinneswahrnehmung genau der Bedeutung des Ausdruckes Lebenskraft für die Theorie der Lebensprocesse parallel geht. Derjenige philosophische Denker, welcher selbst die Hypothese von der Lebenskraft auf das siegreichste bekämpft hat, nennt das Gemeingefühl, das er sich im Sinne der zuletzt genannten Ansicht aus einer Unzahl kleiner Empfindungen und Gefühle zusammengesetzt denkt, „jenes Allgemeingefühl oder Lebensgefühl, welches dem Bewussstsein nicht nur die ganze Summe und Elasticität der vorhandenen disponibeln Lebenskraft zur Wahrnehmung bringt, sondern zugleich eine specifische Anschauung der eigenthümlichen graziösen oder ungeschickten, schwungkräftigen oder schwerfälligen Art des ganzen Daseins unterhält, durch welche der Einzelne seine eigene Persönlichkeit vor sich selbst vielleicht mehr, als durch allen andern Inhalt charakterisirt"**); eine Definition, in der jener Parallelismus zwischen dem Gemeingefühl und der Lebenskraft unmittelbar zu Tage tritt.

Dem gegenüber ist es schon seit lange das naturgemässe Bestreben der Physiologen gewesen, das so genannte Gemeingefühl in einen klareren Ausdruck aufzulösen. Joh. Müller,

*) Waitz, Lehrbuch der Psychologie, Braunschweig 1849, §. 9 u. 10. Vergl. a. George, die fünf Sinne, Berlin 1846, S. 44 u. f., wo ein solches Empfindungsvermögen nicht auf die Nerven beschränkt, sondern auf alle Körperorgane ausgedehnt und von dem Grad der „Vitalität" derselben abhängig gedacht wird.

**) Lotze, medicinische Psychologie. Leipzig 1852. S. 281.

der zuerst die Lebenskraft factisch aus der Wissenschaft beseitigte, ist auch der Erste gewesen, der den Versuch machte die frühere Lehre vom Gemeingefühl zu zerstören. Schon seine Forschungen über die Physiologie des Gesichssinnes begann Müller mit dem Satze: „Wenn auch die Veränderungen der thierischen Selbstheit die Ursache der Erregung in einem von ihr selbst Verschiedenen haben, so weiss das Individuum im blossen Zustand des Selbstbewusstwerdens und ohne Ausbildung des Urtheils nichts von diesem äussern Grunde, sondern nur und immer nur von inneren Veränderungen. Die einzige Aeusserlichkeit des thierischen Bewusstseins auf dieser Stufe sind eben nur die Veränderungen als Objecte der subjectiven Empfindung“ *). Die Gesichtseindrücke, die Tasteindrücke erzeugen ursprünglich nur Wahrnehmungen der eigenen Netzhaut, Wahrnehmungen des eigenen Tastorgans, und da nach der Kant'schen Lehre, der Müller folgt, der Raum die Form der Anschauung ist, so empfindet das Individuum in den Anfängen der Sinnlichkeit nur „sich selbst räumlich ausgedehnt“. Von diesem Standpunkte betrachtet musste die Lehre vom Gemeingefühl beseitigt werden, denn die Annahme einer ursprünglichen Scheidung des Individuums und seiner eigenen Gefühle von der objectiven Welt und den äusseren Eindrücken, die jener Lehre zu Grunde liegt, war damit aufgehoben. So verwarf denn auch Müller die Annahme eines Gemeingefühls, indem er die Empfindungen, die man unter dasselbe geordnet hatte, dem allgemeineren Gefühlssinne beizählte, der nach ihm nicht bloss in der Haut, sondern auch in den Muskeln und in andern innern Organen seinen Sitz hat. Diese letzteren Empfindungen, durch welche wir die innern Zustände unseres Körpers erfahren, sind, sagt Müller, „von derselben Gattung, wie die Gefühle der Haut, welche von aussen erregt werden, in manchen Organen nur unbestimmter, dunkler. Auch ist es für den Sinn gleich, ob er von aussen oder innen gereizt wird, und bei keinem Sinne unterscheiden wir objective und subjective Empfindungen, als etwas wesentlich Verschiedenes“ **).

Der berechtigten Kritik des Gemeingefühls hatte hier aber Müller eine Hypothese beigemengt, die sich, weil sie nicht beweisbar war, nicht alsbald in der Wissenschaft Geltung zu verschaffen vermochte, die Hypothese nämlich, dass die dem

*) Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes, S. 39.
**) Handbuch der Physiologie, Bd. II. Koblenz 1840, S. 275.

Gemeingefühl zugerechneten Empfindungen von derselben Art seien wie die Gefühlsempfindungen der Haut. Müller machte zwar zu Gunsten dieser Ansicht geltend, dass die höheren Sinnesnerven nach Magendie's Versuchen auf mechanische Reizung, z. B. bei der Durchschneidung, keine Schmerzempfindung veranlassten; er vermuthete deshalb, dass der Schmerz in Folge intensiver Reize bloss für die Gefühlsnerven charakteristisch sei, und er schloss daraus weiter, alle der Schmerzerregung fähigen Nerven müssten als Gefühlsnerven bezeichnet werden. Schon dieser Schluss wäre keineswegs bindend, aber es sind nicht einmal die Prämissen richtig, auf die er sich stützt. Es scheint nach neuern Versuchen richtig zu sein, dass die Retina und der Sehnerv, sowie auch Hör- und Geruchsnerv bei der Durchschneidung keine Schmerzempfindung veranlassen*), aber es ist damit nicht gesagt, dass sie überhaupt nicht Schmerz erregen können; in Bezug auf den Sehnerven ist es keinem Zweifel unterworfen, dass intensive Lichteindrücke auf die Netzhaut neben der blendenden Lichtempfindung Schmerz veranlassen, ebenso verursachen heftige Schalleindrücke, namentlich wenn sie aus stark dissonirenden Tönen bestehen, Schmerz im Gehörorgan. Man hat nun zwar diese Erscheinungen dadurch zu erklären gesucht, dass man annahm, es seien jenen Sinnesnerven und ihrer Ausbreitung echte Gefühlsnervenfasern beigemengt, oder es werde die Reizung während des peripherischen Verlaufs oder auch erst im Gehirn auf Gefühlsnerven übertragen; aber es müssen diese Annahmen als im höchsten Grade hypothetisch betrachtet werden, und mehrere Thatsachen widersprechen denselben. Am augenfälligsten ist endlich die Unhaltbarkeit der Müller'schen Hypothese bei den Muskeln, die von Müller zu den mit Gefühlssinn begabten Organen gerechnet werden, während sie doch auf mechanische Reizung fast unempfindlich sind, dagegen bei starker Ermüdung in Folge oft wiederholter Zusammenziehungen das eigenthümliche Gefühl des Muskelschmerzes besitzen.

Diese Einwürfe, die alsbald sich aufdrängen mussten, bedingten es, dass die Müller'sche Lehre, die Gemeingefühle seien gleichbedeutend mit den Gefühlsempfindungen der Haut, sich bei den Physiologen keinen Eingang verschaffen konnte, sondern dass die Annahme eines getrennten Gemeingefühls

*) Vergl. Schiff, Lehrbuch der Physiologie, Bd. I. Lahr 1858—59, S. 146.

bis heute fortbestehen blieb. Diese heutige Lehre vom Gemeingefühl ist aber wesentlich verschieden von dem was frühere Physiologen hierunter zu begreifen pflegten.

E. H. Weber, dem die neuern Physiologen durchweg gefolgt sind, nennt Gemeingefühl „das Bewusstsein von unserm Empfindungszustande, welches alle mit Empfindungsnerven versehenen Theile vermitteln, abgesehen von der specifischen Sinnesempfindung, die uns ausserdem manche von ihnen verschaffen.“ *) Damit lässt Weber die Frage, ob diese Gemeingefühlsempfindungen einerlei Art seien, zunächst unentschieden, er beschäftigt sich nur mit der Aufzählung und Untersuchung der einzelnen Gemeingefühle. Diese sind nach Weber erstens die Schmerzempfindungen der Haut und der andern Tastorgane, zweitens das eigenthümliche Gefühl des Schauders und Kitzels in der Haut, drittens unbestimmtere Gemeingefühle in innern Organen, wie im Nervensystem, in den Schleimhäuten, und viertens werden hiezu die Empfindungen der Muskeln bei ihrer Zusammenziehung gerechnet.

Wir sehen somit, dass die Definition des Gemeingefühls, die uns die Psychologen geben, von dem was die heutige Physiologie darunter versteht meistens weit verschieden ist. Bei den Psychologen sehen wir das Bestreben vorwalten, das Gemeingefühl zu einem einheitlichen Lebensgefühl zu stempeln, während die Physiologie eigentlich nur noch von Gemeingefühlen reden kann, da für sie allein jedes einzelne Gemeingefühl, nicht die ganze Summe derselben als solche einen Werth hat; sie fasst die hieher gehörigen Empfindungen nur deshalb unter einem Namen zusammen, weil sie entweder voraussetzt, dieselben seien einerlei Art, oder weil sie glaubt, dieselben seien als subjective Empfindungen (Gefühle) von den objectiven Sinnesempfindungen strenge zu scheiden.

Fassen wir zuerst das Gemeingefühl der Psychologen ins Auge. Hier wird das Gemeingefühl als Lebensgefühl, als die Summe aller der Empfindungen bezeichnet, die zu jeder Zeit von allen empfindenden Theilen unseres Körpers dem Sensorium zuströmen. Wir können in dieser Definition nicht den Ausdruck einer Thatsache, sondern nur einer Reflexion des Beobachters sehen. Durch lange Beobachtung sind uns eine grosse Menge empfindender Theile unseres Körpers bekannt geworden, anderseits wissen wir, dass in jedem Augenblick

*) Tastsinn und Gemeingefühl. im Handwörterb. der Physiol., Bd. III, 2, S. 562 u. f.

auf viele Theile gleichzeitig Empfindungseindrücke einwirken, und doch lehrt uns die Erfahrung, dass nicht alle diese Empfindungseindrücke scharf aufgefasste Empfindungen in Bezug auf Ort und Art der Einwirkung veranlassen, es lehren im Gegentheil die Beobachtungen der Astronomen über die möglichst gleichzeitige Auffassung von Schall- und Lichteindrücken, dass in einer bestimmten Zeiteinheit nur ein Sinneseindruck vom Bewusstsein aufgefasst werden kann. Indem uns also die Beobachtung in jedem Augenblick nur einen scharf geschiedenen Empfindungseindruck im Bewusstsein aufzeigt, während doch die Reflexion uns sagt, dass gleichzeitig eine grosse Menge von Empfindungseindrücken stattfanden, sind wir geneigt den Schluss zu machen, dass auch diese letzteren Eindrücke zu bewussten Empfindungen Veranlassung gaben, die aber wegen ihrer geringen Stärke oder wegen unserer geringeren Aufmerksamkeit auf sie nur weniger klar ins Bewusstsein getreten seien. Sobald wir genauer untersuchen, tritt die Unrichtigkeit dieser Voraussetzung zu Tage, und wir bemerken, dass wir nur einen gleichzeitigen Sinneseindruck aufzufassen vermögen.

Jene Definition des Gemeingefühls als verworrene Masse aller gleichzeitigen Perceptionen des Bewusstseins hängt mit einem Grundsatz der Herbart'schen Psychologie zusammen, auf welchen das ganze mathematische Gebäude dieser Psychologie gestützt ist, mit dem Grundsatze nämlich, dass die im Bewusstsein vorhandene Summe des Vorstellens immer gleich gross bleibe *). Eine Folgerung hieraus ist, dass, wenn alle gleichzeitig im Bewusstsein vorhandenen Vorstellungen sich annähernd mit gleicher Stärke hemmen, nur eine verworrene Gesammtauffassung entstehen kann. Aber der ganze Ausgangspunkt dieser Betrachtungen unterliegt grossem Zweifel. Es wird eingestanden, dass im traumlosen Schlaf und in ohnmachtähnlichen Zuständen jener Grundsatz seine Gültigkeit verliere, es wird also zugegeben, dass es nicht bloss scheinbar, sondern wirklich bewusstlose Zustände giebt, ohne dass deshalb das Bewusstsein für immer erloschen wäre. Wenn aber unter Umständen die Summe des Vorstellens auf Null herabsinken kann, warum sollte sie dann nicht auch zuweilen einen bestimmten Werth zwischen Null und ihrer gewöhnlichen constanten Grösse annehmen? Und ist es wohl denkbar, dass

*) Herbart, Psychologie als Wissenschaft, sämmtl. Werke, Bd. V, S. 323; Drobisch, mathematische Psychologie, S. 19.

das Vorstellen, wenn es in solchen Fällen beginnt oder aufhört, in einer unmessbaren Zeit zwischen Null und dieser constanten Grösse wechselt? — Es ist ferner eine mathematische Folgerung aus jenem Grundsatze, dass die Zahl der gleichzeitig im Bewusstsein vorhandenen Vorstellungen nie unter zwei sinken könne, wie viel wohl auch die eine von zwei Vorstellungen die andere an Intensität übertreffen möchte, sie würde dieselbe niemals ganz aus dem Bewusstsein verdrängen können*). Dieses Resultat der Rechnung steht in geradem Widerspruch mit dem oben erwähnten Experiment der Astronomen. Man kann zwar hiergegen einwenden, es hindere nichts den Intensitätsunterschied der beiden Vorstellungen sehr gross zu nehmen (obgleich man ihn nicht unendlich nehmen darf, weil sonst die eine Vorstellungsintensität selbst unendlich würde, was unmöglich ist), so gross, dass die schwächere Vorstellung in Wirklichkeit gar nicht mehr zur Perception gelangt. Wenn aber eine Vorstellung nicht zur Perception gelangt, so ist sie auch nicht in unserm Bewusstsein, denn bewusst nennen wir eben nur das was wir percipiren; es würde also immerhin die schwächere Vorstellung noch in irgend einem Grade zur Auffassung gelangen müssen. Sagt man aber, dieser Grad sei eben so schwach, dass er gegen die intensivere Vorstellung verschwinde, so macht man damit die ganze Bedeutung der Rechnung zu Nichte, welche ausdrücklich ergiebt, dass die Intensität der schwächeren Vorstellung sehr klein, nicht aber verschwindend klein werden kann.

Da nun vom Standpunkt der Erfahrungswissenschaften aus jenes Axiom der mathematischen Psychologie nur als Hypothese einen Werth hätte, wenn die aus ihm gezogenen Folgerungen mit allen Erfahrungen im Einklang ständen, so werden wir dasselbe Angesichts eines derartigen Widerspruchs mit der Erfahrung unter allen Umständen verwerfen müssen. Wir werden also zu der Annahme gedrängt, dass die Summe des Vorstellens veränderlich ist, und diese Annahme ergiebt sich unmittelbar als Folgerung aus der Erfahrungsthatsache, dass wir nie mehr als eine Vorstellung gleichzeitig im Bewusstsein vorfinden.

Es lassen sich für diese Thatsache ausser dem mehrfach erwähnten Experiment noch andere Beobachtungen anführen. Diejenigen Sinnesorgane, durch welche wir am leichtesten

*) S. Drobisch, a. a. O., S. 64.

zwei verschiedene Sinneseindrücke auf das Bewusstsein können einwirken lassen, um den Erfolg ihrer gleichzeitigen Einwirkung zu beobachten, sind die beiden Augen. In den beiden vorigen Abhandlungen sind ausführlich derartige Versuche erörtert worden. Es hat sich dabei gezeigt, dass je nach den Bedingungen der Erfolg ein verschiedener sein kann. Sind die in beiden Augen entworfenen Netzhautbilder so gelagert, dass sie den zwei perspektivischen Projektionen eines und desselben räumlich ausgedehnten Objektes entsprechen, so werden die beiden Sinneseindrücke auch im Bewusstsein vereinigt: es entsteht die einheitliche Vorstellung eines räumlich ausgedehnten Gegenstandes. Sind dagegen die beiden Netzhautbilder so beschaffen, dass sie von ganz verschiedenen Objekten herrühren müssen, so kann der Erfolg ein dreifacher sein: entweder verdrängt der eine Sinneseindruck den andern vollständig, so dass wieder bloss eine Vorstellung in's Bewusstsein kommt, wo diese Verdrängung bald eine dauernde ist bald eine wechselnde (Wettstreit der Wahrnehmungen), oder es modificirt der eine Sinneseindruck den Erfolg des andern, indem er sich mit demselben wieder zu einer einzigen Vorstellung vereinigt, oder endlich die beiden Sinneseindrücke bleiben in der Vorstellung neben einander bestehen, weil sie nicht räumlich vereinigt werden können, aber auch hier treten die beiden Gesichtswahrnehmungen zu einem einheitlichen Bilde zusammen, das für die Vorstellung vollkommen durch ein monokulares Bild ersetzt werden kann; alle binokularen Gesichtsempfindungen führen somit entweder zu den eigenthümlichen binokularen Gesichtsvorstellungen oder zu Vorstellungen, die den monokularen Gesichtsvorstellungen identisch sind. In diesen wie in allen anderen Fällen, wo gleichzeitig auf verschiedene Sinnesorgane Eindrücke stattfinden, lässt sich häufig nachweisen, dass die gleichzeitige Auffassung nur dadurch zu Stande kommt, dass wir die getrennten Eindrücke zu einer Vorstellung vereinigen. Wo die Eindrücke aber der Art sind, dass eine solche Vereinigung unmöglich ist, da ist es immer zweifelhaft, ob nicht der Schein der Gleichzeitigkeit durch eine sehr schnelle Succession des Vorstellens entstehen kann, und eine aufmerksame Selbstbeobachtung scheint hiefür zu sprechen. Wenn wir z. B. mit dem Auge einen Gegenstand betrachten und von einem ganz differenten Objekt gleichzeitig einen Tasteindruck empfangen, so gelingt es uns niemals den einen und den andern Eindruck gleichzeitig mit gleichmässiger Schärfe wahrzunehmen, wir ertappen uns immer darauf, dass wir entweder nur sehen, oder nur tasten. Wir

erhalten dabei allerdings die bestimmte Vorstellung des gleichzeitigen Stattfindens beider Eindrücke, aber diese kann leicht aus der Beobachtung entspringen, dass, wenn wir auch mit unserer Aufmerksamkeit zwischen beiden Eindrücken wechseln, immer unsere Empfindungen unverändert geblieben sind: es ist eben die Vorstellung gleichzeitiger Eindrücke nicht gleichbedeutend mit dem gleichzeitigen Vorstellen von Eindrücken.

Es ist damit keineswegs gesagt, dass wir nicht überhaupt gleichzeitig eine Summe von Eindrücken ins Bewusstsein zu erheben vermögen, aber ob dies geschieht hängt lediglich davon ab, ob wir die Eindrücke zu einer einzigen Vorstellung vereinigen oder nicht. Die meisten Gesichtsvorstellungen z. B. bestehen aus einer grossen Summe von Einzelempfindungen, aber wir fassen diese nur dann gleichzeitig auf, wenn wir sie zu einem Ganzen vereinigen können. Wenn wir einen zusammengesetzten Gegenstand betrachten, so können wir unsere Aufmerksamkeit entweder auf einen einzelnen Theil des Gegenstandes richten oder auf das Ganze; im ersteren Fall verschwindet das Ganze völlig aus unserer Vorstellung, im zweiten Fall stellen wir uns mit dem Ganzen auch das Einzelne vor, aber dieses Einzelne nicht neben sondern in dem Ganzen.

Es lässt sich endlich noch ein tiefer gelegener psychologischer Grund für die Unmöglichkeit des gleichzeitigen Bewusstwerdens getrennter Eindrücke aufführen. Unser gesammtes Seelenleben stellt sich dar als die continuirliche Aneinanderreihung logischer Processe. Durch diese bauen wir aus den Empfindungen Wahrnehmungen auf und schreiten von den Wahrnehmungen zu Vorstellungen: die Folge dieses continuirlichen Verlaufs der logischen Processe unserer Seele ist die Zeitreihe, unter deren Form wir alles psychische Geschehen auffassen. Schon Kant hat die Zeit mit einer mathematischen Linie verglichen. Dieser Vergleich sagt nichts anderes, als dass wir nicht verschiedene Zeitreihen gleichzeitig anschauen können, dass wir nicht logische Processe verschiedener Art gleichzeitig vollziehen können. Auch das räumliche Nebeneinander, welches wir in der äusseren Anschauung gewinnen, erhalten wir nur durch eine Succession des Vorstellens, die, nachdem sie das Einzelne für sich aufgefasst hat, dasselbe in ein Ganzes verbindet.

Es scheinen mir diese Gründe, und namentlich der zuletzt aufgeführte, so triftig zu sein, dass die entgegenstehende Meinung, welche eine Gleichzeitigkeit des Bewusstseins differenter Vorstellungen behauptet, nur eine geringe Wahrscheinlichkeit für sich hat. Dabei muss aber leider zugestanden werden,

dass auf experimentellem Wege die Einheit des Vorstellungsverlaufes nur für Vorstellungen von grosser Intensität bewiesen ist und sich auch nur für solche streng beweisen lässt, da diejenigen Beobachtungen im Gebiet der Sinneswahrnehmungen, die für die Statthaftigkeit des gleichen Princips bei schwächeren Sinneseindrücken von annähernd gleicher Intensität sprechen, sich immerhin nicht als vollkommen bindende Beweismittel betrachten lassen. Aber auch hier lässt sich wenigstens keine einzige Erfahrung geltend machen, die für das gleichzeitige Bewusstwerden differenter, d. h. nicht in einer Vorstellung vereinbarer, Eindrücke in die Schranken träte.

Es muss sonach die ganze Anschauung, aus welcher die psychologische Definition des Gemeingefühls entsprungen ist, als eine durch die Beobachtung nicht zu begründende betrachtet werden, und wenn, wie dies nach der Uebereinstimmung aller Erfahrungen als sehr wahrscheinlich erscheint, nicht gleichzeitig eine grosse Summe von Sensationen ins Bewusstsein gelangen kann, so ist jenes Gemeingefühl der Psychologen als Ausdruck einer Reflexion zu betrachten, wo das Resultat dieser Reflexion für die Thatsache selber gesetzt wird. Fortwährend wirken eine grosse Menge von Eindrücken auf die verschiedensten empfindenden Stellen unseres Körpers, Eindrücke, die theils von äusseren Objekten herrühren, theils in den Zuständen unserer Organe selber begründet sind. Wenn von den hierdurch veranlassten Sensationen nicht etwa eine einzelne eine solche Intensität erreicht, dass unsere Aufmerksamkeit dauernd durch sie gefesselt wird, so pflegt unser Bewusstsein mit der Auffassung der Einzeleindrücke vielfältig zu wechseln, und wir erhalten durch diesen Wechsel die Vorstellung, dass viele Eindrücke gleichzeitig auf uns stattfinden. Wir können jeden einzelnen derselben wenn es uns beliebt ins Bewusstsein erheben, niemals aber alle oder auch nur mehrere gleichzeitig. Wenn wir dies auch versuchen, so lehrt uns eine sorgfältigere Beobachtung, dass uns immer nur ein sehr rascher Wechsel zwischen den Einzeleindrücken gelingt. Wenn wir also die Summe gleichzeitiger Sensationen, die in jedem Augenblick durch die vorhandenen Empfindungseindrücke gegeben ist, als Gemeingefühl bezeichnen, so begehen wir den Fehler, dass wir das Stattfinden der Eindrücke mit dem Bewusstwerden der Eindrücke verwechseln.

Es ist somit das Gemeingefühl ähnlich wie alle Sinneswahrnehmungen das Resultat eines Schlusses, aber nicht eines richtigen, sondern eines Fehlschlusses. In der Wirklichkeit begehen wir diesen Fehlschluss fortwährend, wir glauben ohne

nähere Untersuchung aus den oben angeführten Gründen immer, dass wir gleichzeitig eine grosse Zahl von Eindrücken empfinden. Deshalb ist die Aufstellung eines Gemeingefühls in dem hier angenommenen Sinne eine berechtigte, denn das Gemeingefühl ist nicht blos ein Fehlschluss, den die Psychologen machen, sondern ein Fehlschluss, der in dem Ablauf unserer Empfindungen nothwendig begründet ist, und den daher jeder Mensch macht, so lange ihn nicht die exakte Beobachtung von dessen Unstatthaftigkeit überzeugt hat. Aber auch nachdem wir wissen, dass der Schluss ein Fehlschluss ist, können wir nicht umhin, ihn in Wirklichkeit immer wieder zu vollziehen: wir haben das Bewusstsein, dass fortwährend eine Menge gleichzeitiger Eindrücke auf uns stattfinden, und wir glauben diese Eindrücke unmittelbar als gleichzeitige aufzufassen. Die Gesammtheit dieser mehr oder weniger intensiven Sensationen unserer empfindenden Organe begründet unser Allgemeinbefinden, und es kann deshalb das Produkt dieser Summe von Sensationen nicht unpassend als Gemeingefühl bezeichnet werden. Wir müssen uns dabei nur hüten, den Irrthum unserer Vorstellung, als dessen Ausdruck das Gemeingefühl zu betrachten ist, in die wissenschaftliche Zergliederung desselben zu übertragen. Wir können sonach von diesem Standpunkte aus das Gemeingefühl definiren als einen psychischen Process, bei dem wir aus der öfteren successiven Perception einer Summe von Einzeleindrücken auf die Gleichzeitigkeit dieser Eindrücke schliessen, aus welcher Gleichzeitigkeit dann ein Allgemeinbefinden hervorgeht, das sich als unmittelbares Produkt der ganzen Summe von Einzelempfindungen darstellt. Von den verschiedenen Einzelempfindungen hat aber nicht jede den gleichen Werth für das Gemeingefühl, es hängt dieser Werth nicht blos ab von der Intensität der Empfindung, sondern auch von der Qualität derselben und von dem die Qualität bedingenden Ort des Empfindungseindrucks.

Bei denjenigen Empfindungen der äusseren Sinne, welche zu objectiven Vorstellungen führen, ist der Werth der Empfindungen für das Gemeingefühl, wenn dieselben ihre gewöhnliche Stärke nicht überschreiten, von verschwindender Grösse: die ganze Empfindung geht hier in der objektiven Wahrnehmung auf, und erst wenn die Empfindung eine sehr bedeutende Grenze der Intensität überschreitet, tritt zugleich der eigene Zustand des Sinnesorgans in die Wahrnehmung ein oder verdrängt sogar den äusseren Gegenstand ganz aus derselben. Einen grösseren Werth für das Gemeingefühl haben naturgemäss alle die Empfindungen, welche nicht auf äussere

Gegenstände bezogen werden können, sondern unmittelbar auf den Zustand des empfindenden Organs zurückgeführt werden müssen. Hierher gehören die Empfindungen in den willkürlichen Muskeln und in inneren Organen, wie in den Eingeweiden der Rumpfhöhle und des Schädels. Auch unter diesen Empfindungrn sind die letztgenannten wieder von überwiegender Bedeutung für das Gemeingefühl. Da wir fast fortwährend verschiedene Muskelgruppen in Bewegung setzen, so haben wir auch fast fortwährend Muskelempfindungen. Diese Muskelempfindungen können zwar nur auf den Zustand der Bewegungsorgane, auf den Grad der Muskelverkürzung bezogen werden, aber der letztere steht schon in unmittelbarer Beziehung zur objektiven Wahrnehmung: in der Wahrnehmung des Grades der Muskelverkürzung allein liegt bereits eine räumliche Anschauung, und überdies treten die Muskelempfindungen bei den meisten objectiven Wahrnehmungen der äusseren Sinne als unterstützendes Moment hinzu. Ganz anders verhält es sich mit jenen Empfindungen, die zuweilen in verschiedenen Theilen des Eingeweidesystems oder des centralen Nervensystems oder in den diese Organe umhüllenden serösen und bindegewebigen Häuten auftreten. Empfindungen in diesen Theilen sind schon im gewöhnlichen Zustand gar nicht oder doch nicht in merklicher Weise vorhanden, ihr blosses Vorhandensein drängt sich daher schon der Aufmerksamkeit mehr auf und verändert das Allgemeinbefinden, auch ohne dass jene Empfindungen schmerzhafter Art sind. Ferner stehen diese Empfindungen zu den objektiven Wahrnehmungsprocessen in gar keiner Beziehung, sie werden zwar lokalisirt, aber eben doch nur lokalisirt, um sie auf den Zustand eines bestimmten Organs unsers Körpers zu beziehen, nicht auf eine Veränderung, welche die Objekte im Vergleich zu uns oder wir im Vergleich zu den Objekten erfahren haben, wie ersteres bei den objektiven Wahrnehmungen, letzteres bei der subjektiven Wahrnehmung unserer Muskelbewegung der Fall ist.

Die Bedeutung, in welcher die Physiologie jetzt gewöhnlich den Ausdruck Gemeingefühl braucht, weicht von der Definition, zu welcher wir oben gelangt sind, beträchtlich ab. Aber es ist auch dieser Ausdruck in der neueren Physiologie offenbar nur dem Herkommen zu Liebe noch stehen geblieben, da, sobald man einmal das Gemeingefühl in seine einzelnen Bestandtheile zersetzt und blos diese ins Auge fasst, es eigentlich ebenso unstatthaft ist, von einem einheitlichen Gemeingefühl zu reden, als wenn man alle objektiven Sinne, Gesicht, Gehör, Geschmack u. s. w., als e i n e n Sinn zusammenfassen wollte.

In einer solchen Bedeutung ist nun in der That auch der Ausdruck Gemeingefühl bei den Physiologen gar nicht mehr gebraucht worden, sondern man hat denselben nur als Generaltitel für alle die Sinneseindrücke beibehalten, die nicht auf äussere Objekte bezogen werden. Sollte jedoch, wie hierbei stillschweigend angenommen ist, dem Gemeingefühl kein wirklicher bestimmter Vorgang entsprechen, so würde es, wie mir scheint, zweckmässiger sein einen Ausdruck, der nur zu falschen Vorstellungen Veranlassung geben kann, ganz aus der Wissenschaft zu verbannen. Hierzu kommt, dass die Beziehung der Empfindungen auf ~~auf~~ ein äusseres Objekt oder auf Zustände des eigenen Körpers, erst etwas Sekundäres ist, was gar nicht in der Empfindung an sich liegt, sondern erst dem Wahrnehmungsprocesse anheimfällt. Ja ob unsere Sinneseindrücke nach Aussen projicirt oder in den eigenen Körper verlegt werden, ist eine Sache, welche nicht einmal in der Art des Wahrnehmungsprocesses einen wesentlichen Unterschied bedingt, sondern welche erst als Resultat desselben zu Tage tritt. Es ist aber offenbar fehlerhaft, in die reine Empfindung schon eine Unterscheidung zu legen, die erst durch die Reflexion von derselben entsteht.

Es würde also von diesem Standpunkte aus angemessen erscheinen, von einem Gemeingefühl überhaupt nicht mehr zu reden, sondern den geläufigen Klassen von Sinnesempfindungen diejenigen Empfindungen, die man bis jetzt als Formen des Gemeingefühls aufgezählt hat, als neue hinzuzufügen; es könnten dann diese den objektiven Sinnesempfindungen gegenüber als subjektive Empfindungen oder Gefühle bezeichnet werden, wobei man nur vor dem Missverständniss sich zu hüten hätte, als wenn dieser Unterschied von subjektiv und objektiv etwas Ursprüngliches bedeuten sollte. Aber, wenn wir die von E. H. Weber aufgestellten Formen des Gemeingefühls ins Auge fassen, so finden wir hier einer vollständigen und scharfen Klassification keineswegs Genüge geleistet; wir würden nicht im Stande sein, die von ihm angenommenen Gefühle den Klassen der objektiven Sinnesempfindungen an die Seite zu stellen. Ausser den unbestimmteren Gefühlen in inneren Organen und dem Muskelgefühl wird das Schmerzgefühl in den Organen der objektiven Sinne, in der Haut überdies das eigenthümliche Gefühl des Schauders und Kitzels zum Gemeingefühl gerechnet. Die Mangelhaftigkeit dieser Klassifikation erhellt auf den ersten Blick. Es soll hieraus derselben nicht ein Vorwurf gemacht werden, sondern diese Mangelhaftigkeit folgt eben nothwendig aus der Schwierigkeit

des Gegenstandes. Heben wir nur einige Beispiele heraus. Unter den Gemeingefühlen in inneren Organen wird der Hunger genannt: ist der Hunger ein Gefühl, das den specifischen Sinnesempfindungen entspricht, oder ist er die Form, unter welcher das Schmerzgefühl in den sensibeln Nerven des Magens auftritt, oder ist er endlich ein Muskelgefühl? Es würde, wie ich glaube, voreilig sein, wenn man, ehe entscheidendere Untersuchungen als bis jetzt vorliegen, diese Fragen mit Bestimmtheit beantworten wollte; nur so viel lässt sich wohl sagen, dass der Hunger blos in seinen intensivsten Graden zum Schmerzgefühl wird, aber es bleibt dann immer noch die Alternative, ob er als Empfindung in den sensibeln Magennerven oder als Muskelempfindung oder vielleicht auch als Mischung beider Empfindungen zu betrachten sei. Sollte sich aber z. B. herausstellen, dass der Hunger ein Muskelgefühl ist, so würde er nicht mehr als besondere Form des Gemeingefühls aufgeführt werden können. Die Gefühle von Schauder und Kitzel, kommen sie durch unmittelbare leise Erregungen der Tastnerven zu Stande, oder wirken dabei Empfindungen in den kleinen unwillkürlichen Hautmuskeln mit, die reflektorisch in Zusammenziehung versetzt werden? Vielleicht am schwierigsten ist endlich zu entscheiden, wie das Gefühl des Athembedürfnisses zu Stande kommt, das ebenfalls unter die Gemeingefühle gerechnet werden muss. Es scheint, dass dieses Gefühl wieder aus einer Summe von Einzelempfindungen zusammengesetzt ist, die aber auf ähnliche Weise sich zu einer einheitlichen Wahrnehmung vereinigen, wie wir eine Summe zusammengehöriger Gesichts- oder Gehörseindrücke zu *einer* Wahrnehmung zusammenfassen.

Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass von den gangbaren Gemeingefühlen einige in dieser Weise komplizirte Phänomene sind, die sich noch nicht genauer zergliedern lassen, und dass andere, die wir bis jetzt noch trennen, vielleicht ihrem Ursprung nach gleicher Art sind. So viel lässt sich nur mit Bestimmtheit voraussagen, dass, sobald die Zergliederung der einzelnen Gemeingefühle vollendet sein wird, dieselben in eine Reihe *specifischer Organempfindungen* zerfallen werden, und erst nachdem dies geschehen ist, wird unsere Kenntniss der Gemeingefühle gleichen Schritt halten mit der Kenntniss der objektiven Sinnesempfindungen, während unser jetziges Wissen von den meisten derselben sich noch auf einer Stufe befindet, auf der uns von ihnen ungefähr so viel bekannt ist, wie vielleicht dem Neugeborenen von seinen Gesichts- oder Gehörsempfindungen, d. h. wir sind uns unserer

Gemeingefühle bewusst, wir wissen aber nur sehr unbestimmt, in welchen Körpertheilen sie stattfinden, und wir kennen endlich gar nicht die Organe und Elementartheile, in welchen sie ihren Sitz haben. Das Einzige was wir jetzt schon mit Wahrscheinlichkeit angeben können ist, dass eine Form jener Organempfindungen weit verbreitet vorkommt und sich an einer grossen Menge von Gefühlen betheiligt oder dieselben auch ganz ausmacht: dies sind die Muskelempfindungen, die nicht blos bei den Bewegungen der willkürlichen Muskeln vorhanden sind, sondern auch die Zusammenziehung der unwillkürlichen Muskeln der Eingeweide begleiten, bei welchen letzteren sie zuweilen aber erst wenn die Contraktion von besonderer Energie ist merklich werden. Ausser diesen weit verbreiteten Muskelempfindungen betheiligen sich bei der Entstehung der Gefühle noch Empfindungen, die in den nicht muskulösen innern Organen ihren Sitz haben, und die in jedem Organ von besonderer Eigenthümlichkeit sind: dies sind die specifischen Organempfindungen im engeren Sinne. Man kann nun sagen: alle Gefühle sind entweder blos Muskelempfindungen oder blos specifische Organempfindungen, oder sie sind aus beiden gemischt. Die Untersuchung hat bei jedem einzelnen Gefühl nachzuweisen, welcher von diesen drei Fällen stattfindet, und, nachdem dies geschehen ist, den Ort und die Ausbreitung der betreffenden Empfindungen festzustellen.

Damit würden also alle Gefühle, die man als Formen des Gemeingefühls betrachtet hat, auf besondere Empfindungen zurückgeführt sein. Unter diesen wäre eine Klasse, die Muskelempfindungen, entschieden als eigenthümliche Sinnesempfindungen zu betrachten, bei den specifischen Organempfindungen aber würde zu untersuchen sein, ob es so viele verschiedene Arten derselben giebt, als es einzelne sensible Organe giebt, oder ob die Empfindungen getrennter Organe zuweilen gleicher Art sind. Wir sind leider mit der Beobachtung dieser Organempfindungen zum grossen Theil auf pathologische Beobachtungen beschränkt, und wir haben es hier meistens mit Schmerzgefühlen von verschiedenem Sitze zu thun. Es ist nun ausgemacht, dass der Schmerz, wo er auch auftreten möge, eine gewisse Uebereinstimmung zeigt. Das Wesentliche des Schmerzes ist identisch, mag derselbe in einem der objektiven Sinnesorgane, wie in der Haut, oder in den sensibeln Nerven des Hirns, oder in einem beliebigen Theil der Rumpfeingeweide seinen Sitz haben. Wie der Schmerz, von welcher Ursache er auch herrühren mag — von mechanischem, chemischem Reiz, Wärme oder Kälte u. s. w. —

immer gleicher Natur ist, so zeigt er in seinem wesentlichen Charakter keine Verschiedenheit, welche empfindende Nerven des Körpers der schmerzerregende Reiz auch treffen mag. Aber es kann deshalb nicht behauptet werden, dass den Schmerzen je nach ihrer Lokalität alle Verschiedenheit mangelt. Diejenige Verschiedenheit, die auf eine bestimmte Differenz des objektiven Eindrucks hinweist, ist, wenn dieser Eindruck eine solche Intensität erreicht, dass er zum Schmerz reizt, nahezu oder völlig aufgehoben, Schall, Licht- und Tastempfindung verschwinden beim höchsten Grad des Schmerzes ganz und werden bei geringerer Stärke desselben wenigstens übertäubt. Aber selbst wenn der Schmerz einen solchen Grad erreicht, dass die specifische Sinnesempfindung ganz aufhört, wie dies z. B. am Tastorgane leicht herzustellen ist, haftet demselben etwas Eigenthümliches an, was nach dem schmerzenden Orte verschieden ist und was auch den Schmerz noch möglich macht zu lokalisiren. Diese lokale Färbung des Schmerzes erreicht bei weitem nicht die Feinheit der Abstufung, die wir in der lokalen Färbung der Sinnesempfindungen von normaler Stärke vorfinden; es hängt damit zusammen, dass wir den Schmerz, auch wenn er Auge und Tastorgan trifft, immer nur unvollkommner und unbestimmter zu localisiren vermögen. Bei dem Schmerz innerer Organe wird diese Unbestimmtheit der Lokalisation noch dadurch mitbedingt, dass wir von der Lage derselben überhaupt nur eine äusserst unvollständige Kenntniss zu erlangen vermögen, weil sie eben der Beobachtung unserer objectiven Sinne nicht unmittelbar zugänglich sind. Ihre Lage und überhaupt ihr Vorhandensein wird immer erst merkbar, wenn Empfindungen in ihnen entstehen, und diese werden, wie es scheint, durch den Tastsinn lokalisirt, indem ein Druck auf die Haut an der Stelle, die dem schmerzenden Organe entspricht, den Schmerz in fühlbarer Weise zu verändern pflegt.

Es frägt sich nun aber weiter: sind die der Schmerzempfindung entschieden fähigen Theile, welche nicht objective Sinnesorgane oder Muskeln sind, blos der Schmerzempfindung fähig, oder können von ihnen aus Empfindungen angeregt werden, die als specifische Organempfindungen bezeichnet werden müssten, ohne für Schmerz gelten zu können, also Organempfindungen, die den specifischen Sinnes- und Muskelempfindungen von mässiger Stärke entsprächen? Man pflegt bei allen jenen Organen, also z. B. bei den serösen Häuten, den innern Schleimhäuten, den Drüsen, Knochen, dem Gehirn und Rückenmark und deren Hüllen, immer nur von der Fähigkeit

der Schmerzempfindung zu reden, ohne sich zu fragen, ob nicht wenigstens in einzelnen dieser Theile auch Empfindungen vorkommen, die nicht Schmerzempfindungen genannt werden können. Es scheint mir, dass eine aufmerksame Beobachtung hieran gar keinen Zweifel lässt, und der Grund, warum jene mässigeren Empfindungen in den genannten Organen unerwähnt geblieben sind, ist wohl nur der, dass wir keinen Grund haben im Leben denselben unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden, wenn sie diese nicht durch ihre Steigerung zum Schmerze unwillkürlich fesseln.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass derartige Organempfindungen weit seltener sind als die eigentlichen Sinnesempfindungen, viele derselben entwickeln sich entschieden erst unter krankhaften Bedingungen, andere treten wenigstens nur in längeren Zeitzwischenräumen auf. Es lässt sich dieses Verhältniss verstehen, wenn man annimmt, dass es im Allgemeinen beträchtlich intensiver Reize bedarf, um jene Organempfindungen hervorzurufen; hieraus wird auch erklärlich, dass dieselben in der That sehr bald in Schmerzgefühle übergehen. Dass dieselben übrigens nicht unter allen Umständen Schmerzgefühle sind, lässt sich namentlich beweisen, wenn man das Entstehen und Verschwinden des Schmerzes beobachtet. Man bemerkt hierbei, dass sehr selten, streng genommen vielleicht niemals, der Schmerz urplötzlich entsteht und ebenso plötzlich wieder verschwindet, man kann fast immer sehr deutlich eine Zeit des wachsenden und des abnehmenden Schmerzes unterscheiden, und im Beginn der ersteren, am Ende der letzteren Zeit liegt eine Periode, wo eine bestimmte, eigenthümlich gefärbte Empfindung in dem betreffenden Organ vorhanden ist, ohne dass man diese Empfindung Schmerz zu nennen vermöchte. Ist man einmal auf diese Vorläufer und Nachfolger des Schmerzes aufmerksam geworden, so kann man dieselben auch deutlich dann wahrnehmen, wenn sie nicht mit vorausgegangenen oder nachfolgenden Schmerzen in Verbindung stehen. Es gehören hierher eine Menge von Empfindungen in verschiedenen Organen, die man zum Theil mit eigenem Namen bezeichnet hat, die aber wissenschaftlich noch nicht zergliedert sind, wie das Gefühl des Eingenommenseins im Kopfe, verschiedene unbestimmte Gefühle in den Rumpfeingeweiden etc. Diese Gefühle machen auch beim ungestörtesten Lebensverlauf sich geltend, aber sie werden nicht beachtet, nur der Hypochondrische, der die Zustände seines eigenen Leibes mit Sorgfalt studirt, wendet diesen schwachen Empfindungen seine Aufmerksamkeit zu, um sich daraus seine furchtbaren Phantasieen

zu bilden, von denen der Arzt oft mit Unrecht voraussetzt, dass sie keinen Grund haben: krankhaft ist beim Hypochondrischen nur, dass er alle die Organempfindungen, die auch der Gesunde hat, ohne aber auf sie zu achten, in seinem Bewusstsein verarbeitet und schliesslich alle seine Aufmerksamkeit auf dieselben concentrirt.

Wir werden sonach die Frage, von welcher wir ausgingen, dahin zu beantworten haben, dass der Schmerz, wie er in den eigentlichen Sinnesorganen nur als die höchste Steigerung der Empfindung sich darstellt, so auch in allen übrigen empfindenden Organen nichts Anderes ist als die intensivste Empfindung, die auf die stärksten Reize erfolgt, dass dagegen alle Organe, die überhaupt der Schmerzempfindung fähig sind, auch Empfindungen zu vermitteln vermögen, die nicht als Schmerz bezeichnet werden können, sondern die für jedes Organ dasselbe darstellen, was für das Sinnesorgan die specifische Sinnesempfindung ist. Hierin liegt eigentlich schon ausgesprochen, dass diese specifischen Organempfindungen in verschiedenen Organen verschiedener Art sein werden. In der That spricht hierfür schon die oben erwähnte lokale Färbung des Schmerzes, der bei minder starken Reizen eine noch ausgeprägtere lokale Färbung der Empfindung entspricht, d. h. eben eine Empfindung, die in verschiedenen Organen verschieden ist. Dagegen lehrt die Beobachtung allerdings, dass Organe von übereinstimmender Struktur in der Qualität ihrer Empfindungen und in der Eigenthümlichkeit des Schmerzes übereinstimmen. So ist z. B. der Schmerz der serösen Häute überall ähnlicher Art, obgleich auch hier, vielleicht durch das Mitergriffensein benachbarter Gewebe, noch örtliche Verschiedenheiten existiren, durch die sich der Schmerz des Peritoneums von dem der Pleura oder von dem einer Synovialhaut sogleich unterscheidet. Diese letzteren örtlichen Verschiedenheiten sind aber weit geringeren Grades, sie lassen sich nicht entfernt vergleichen mit den Verschiedenheiten des Schmerzes von Organen differenten Baues, also z. B. einer Serosa und eines Knochens. Jene ersteren Differenzen, die zwischen getrennten Organen von übereinstimmender Struktur sich finden, lassen sich vergleichen den kleinen Verschiedenheiten in der Färbung der Empfindung auf verschiedenen Stellen der Haut oder des Auges, jener lokalen Färbung der Tast- oder Gesichtsempfindungen, die für die räumliche Anordnung derselben so wichtig ist, alle derartige Differenzen fallen daher noch in die Breite einer specifischen Empfindungsqualität. Anders ist dies mit den Empfindungen der Organe von verschiedener Struktur.

Die Schmerzgefühle derselben sind nur insofern übereinstimmend, als der Schmerz überall gleicher Art ist, aber was das Eigenthümliche der Empfindung ausmacht ist ebenso wenig vergleichbar, als sich Schall und Licht subjektiv vergleichen lassen. Dass uns dort die Verschiedenheit nicht so auffällt wie hier, liegt offenbar wieder nur an dem geringen Werth, den jene Organempfindungen für unser Bewusstsein haben. Da wir auf sie erst achten, wenn sie zum Schmerz sich steigern, so hat die Sprache auch nur unterscheidende Bezeichnungen für die Eigenthümlichkeit des Schmerzes verschiedener Organe, diese Bezeichnungen sind aber wegen der Ausschliesslichkeit, mit der sie gebraucht werden, sehr charakteristisch: wir reden von bohrenden und nagenden Schmerzen bei den Knochen, von stechenden Schmerzen bei den serösen Häuten, von brennenden Schmerzen in den Schleimhäuten, u. s. w. Diese bestimmt ausgeprägten Färbungen des Schmerzes sind in den Empfindungen vor ihrer Steigerung zum Schmerze schon vorgebildet, ja im Schmerz erst beginnen sie sich zu verwischen und ihre eigenthümliche Färbung theilweise einzubüssen.

Nach Allem lässt sich somit in der Empfindung selber Nichts auffinden, was uns berechtigte, alle Empfindungen innerer Organe als Aeusserungen e i n e s Sinnes zu betrachten, wie dies von M ü l l e r aus andern oben widerlegten Gründen geschehen war. Empfindungen einer Art mit geringeren Verschiedenheiten lokaler Färbung finden wir nur vor in Organen von übereinstimmender Struktur, in ihnen gleicht sich das Wesentliche der Empfindung in ähnlicher Weise wie in der äusseren Haut, trotz der bedeutenden örtlichen Trennung, die wir hier vorfinden. Empfindungen in Organen abweichender Struktur sind dagegen ebenso verschieden wie die Empfindungen differenter Sinnesorgane.

Man kann nun aber die Frage aufwerfen: inwiefern sind wir berechtigt, jene geringeren Abstufungen von den bedeutenderen Verschiedenheiten der Empfindung strenge zu trennen? Dies lässt in Bezug auf die objektiven Sinne leicht sich rechtfertigen. Hier ist eine Differenz in der Empfindungsqualität gegeben, wenn derselbe äussere Eindruck in zwei Fällen einen durchaus verschiedenen Erfolg hat, also z. B. das eine Mal Tastempfindung, das andere Mal Licht, oder das eine Mal Nichts, das andere Mal Farbe hervorruft, wobei also auch eingeschlossen ist, dass Eindrücke, die das eine Sinnesorgan in Erregung versetzen, auf das andere wirkungslos sind. Lokale Färbung der Empfindung dagegen nennen wir es,

wenn bei der Einwirkung der verschiedensten Eindrücke auf eine und dieselbe Stelle eines Sinnesorgans nach Abzug aller von den äusseren Eindrücken herrührenden Verschiedenheiten noch eine gewisse Uebereinstimmung der Empfindung zurückbleibt, die sich nur darauf beziehen lässt, dass eben immer dieselbe empfindende Stelle getroffen wurde. Bei denjenigen Empfindungen, die unter das Gemeingefühl gerechnet werden, wird nun freilich die Unterscheidung zwischen der Qualität der Empfindung und ihrer lokalen Färbung nicht so scharf gemacht werden können, weil hier die Empfindung immer subjektiv bleibt und nicht durch die Abtrennung der auf äussere Objekte bezogenen Verschiedenheiten die Auffassung der lokalen Färbung alsbald ermöglicht wird. Nichts desto weniger muss auch hier die gleiche Unterscheidung zwischen Empfindungsqualität und lokaler Färbung der Empfindung gemacht werden, denn die Empfindung wechselt überall in bestimmter Weise, wenn der veranlassende Reiz sich verändert, und ebenso, wenn der Ort des Reizes sich ändert, jedes von diesen beiden Momenten kann variiren, während das andere constant bleibt, und wir haben dann im einen Fall eine reine Veränderung der Empfindungsqualität, im andern Fall eine reine Veränderung der lokalen Färbung. Die Trennung beider Momente ist bei den subjektiven Empfindungen natürlich schwieriger, weil ihre Objektivirung in Bezug auf Ort und Art der Einwirkung unvollkommner ist, aber es gehört dies erst der Wahrnehmung an und trifft nicht die Empfindung an sich.

Wir sind hiermit zu der Folgerung gelangt, dass zwischen den dem Gemeingefühl zugerechneten Empfindungen und den Empfindungen der objektiven Sinnesorgane nicht, wie man geglaubt hat, eine Grenze sich ziehen lässt, die in der Beschaffenheit der Empfindungen begründet ist. Alle Empfindungen sind ursprünglich rein qualitative Veränderungen unseres Zustandes, erst im Beginn des Wahrnehmungsprocesses trennen wir jede Empfindung in zwei Theile, deren einer sich verändert mit dem Wechsel des Reizes (Empfindungsqualität), und deren anderer sich verändert mit dem Ort des Eindrucks (lokale Färbung), und dann fangen wir an, alle Empfindungen in zwei Gruppen zu trennen: in Empfindungen, die wir auf äussere Objekte beziehen (objektive Empfindungen), und in Empfindungen, die wir auf Zustände unseres eigenen Leibes beziehen (subjective Empfindungen oder Gefühle). Diese letzteren setzen vorzugsweise das Gemeingefühl zusammen, aber nicht ursprünglich und als Empfindungen, sondern erst nachdem die Vorstellungsthätigkeit erwacht ist, nachdem wir unsern

eigenen Leib unterschieden haben von den Objekten, und nachdem wir gelernt haben unsere Empfindungen auf ihre Ursache zurückzubeziehen. Die Unterscheidung von objektiver und subjektiver Empfindung haftet nicht der Empfindung selber an, sondern sie ist erst ein Produkt bewusster Reflexion.

Aber die empfindenden Organe trennen sich auch dann nicht in zwei streng geschiedene Gruppen: in solche, die nur subjektive, und in solche, die nur objektive Empfindungen vermitteln, sondern auch die objektiven Sinnesorgane sind noch subjektiver Empfindungen fähig, d. h. solcher Empfindungen, die nicht auf äussere Gegenstände, sondern auf Zustände unseres eigenen Leibes bezogen werden. In jedem Sinnesorgane entsteht bei geeigneter Art und Stärke des Reizes Schmerz, welcher immer subjektiv ist, und welcher nur subjektiv sein kann, weil das, was das Eigenthümliche des Schmerzes ausmacht, überall gleicher Art ist. Für diese längst bekannte Thatsache haben neuerdings die Untersuchungen von Schiff einen bestimmten physiologischen Anhaltspunkt gegeben. Nach Schiff's Versuchen gehen die Nerven, welche Schmerzeindrücke der Haut leiten, im Rückenmark jedenfalls in ganz anderen Bahnen, als diejenigen Nerven, welche die Tasteindrücke leiten: die letzteren verlaufen in den Hintersträngen, während die ersteren zunächst zu Ganglienzellen der grauen Substanz treten.*) Bis jetzt lässt sich entweder annehmen, dass die peripherischen Nervenfasern beide Arten von Eindrücken aufnehmen, aber im Rückenmark oder in den Wurzelganglien in zwei Fasergruppen sich spalten, in reine Empfindungsfasern und in schmerzleitende Fasern, oder man kann annehmen, dass die empfindungsleitenden und die schmerzleitenden Fasern von Anfang an, schon in der Peripherie, getrennt sind. Im ersten Fall müsste man sich vorstellen, dass bis an die Spaltungsstelle jeder Faser dieselbe für alle Reize leitungsfähig sei, von dort an aber jeder ihrer Zweige die Leitungsfähigkeit nur für die eine Gattung von Reizen beibehalte, eine Annahme, für die bis jetzt kein analoger Fall sprechen würde, oder man könnte voraussetzen, dass die Centralorgane, in welchen die Fasern endigen, jedesmal nur zur Aufnahme einer bestimmten Gattung von Reizen geeignet seien. Schroeder van der Kolk und Schiff haben, wie es scheint, eine dieser Hypothesen als nothwendig vorausgesetzt, aber nicht bestimmt ausgesprochen, welche von beiden. Man kann aber auch von der zweiten Annahme ausgehen,

*) S. Schiff, Lehrbuch der Physiologie. Bd. I. S. 252 u. f.

dass die empfindungs- und schmerzleitenden Fasern schon in der Peripherie getrennt seien, und dann muss man eine wesentliche Verschiedenheit in den peripherischen Endorganen der Nerven voraussetzen, welche die Reize aufnehmen: die eine Form dieser Organe würde nur zur Aufnahme der reinen Empfindungseindrücke, die andere Form nur zur Aufnahme der Schmerzeindrücke fähig sein. Diese letzte Annahme würde manche Analogie für sich haben, da z. B. auch die Verschiedenheit der Farben und Töne schliesslich auf eine solche Scheidung der Endorgane zurückzukommen scheint, denen dann wohl auch eine getrennte Endigung im Gehirn entsprechen mag.

Es würde jedoch offenbar unrichtig sein, wenn man das subjektive Moment bei den Empfindungen der eigentlichen Sinnesorgane auf die Schmerzgefühle beschränken wollte, es pflegt dasselbe allerdings bei den reinen Empfindungen mehr in den Hintergrund zu treten, ohne aber ganz zu verschwinden. Es bildet hier jene Färbung der Empfindungen, die wir mit der vagen Bezeichnung „angenehmer und unangenehmer“ Eindrücke belegen, eine Bezeichnung, die freilich von wissenschaftlicher Schärfe noch möglichst weit entfernt ist. Aber wir haben einmal keine anderen Namen für diese Sache, wir sind nicht einmal im Stande, die mannigfachen Zustände, die sich noch innerhalb jener vagen Kategorien bewegen, durch die Sprache zu unterscheiden. Es ist dies im Grunde auch für uns hier gleichgültig: die Thatsache des Vorhandenseins jener subjektiven Eintheilung der Empfindungseindrücke genügt, um zu beweisen, dass alle Empfindungen nicht rein in der Objektivirung aufgehen, sondern dass dieselben noch ein subjektives Moment begleitet. Es giebt nur äusserst wenig Empfindungen im Bereich des Gesichts-, Gehörs- und Tastsinns, gegen die wir uns subjektiv ganz indifferent verhalten, und auch bei ihnen ist diese Gleichgültigkeit vielleicht nur ein relatives Zurücktreten des Subjektiven in der Empfindung. Grelle Farben thun unserm Auge wehe, auch ohne Schmerz zu erregen, die Klangfarbe, die Harmonie oder Disharmonie der Töne sind unserm Ohr angenehm oder widerstreben ihm.

Dieses Subjektive an den Empfindungen ist nicht von Anfang an getrennt von dem, was auf die objektive Eigenthümlichkeit der Eindrücke bezogen wird: die Empfindung an sich ist ein einheitliches Quale, aus dem eine solche Trennung erst als Produkt des Wahrnehmungsprocesses hervorgeht. Erst nachdem wir durch den letztern unser Ich von den Objekten unterschieden haben, vermögen wir an den Empfindungen

reine Veränderungen unseres eigenen Zustandes und Veränderungen äusserer Gegenstände von einander zu trennen. Es ist unrichtig, wenn man gesagt hat: alle Empfindungen fassen wir ursprünglich als blosse Veränderungen unseres Zustandes auf, alle Empfindungen sind ursprünglich subjektiv, und erst durch das Urtheil werden bestimmte Empfindungen objektivirt. Man hat hier das, was die Empfindungen sind, verwechselt mit der Art, wie sie erscheinen. Alle Empfindungen sind freilich Veränderungen unseres Zustandes, und zwar nicht blos ursprünglich, sondern immerwährend, aber aufgefasst werden sie anfänglich ebenso wenig in der einen wie in der anderen Weise. Die Empfindungen sind ursprünglich weder subjektiv noch objektiv, und in dem Moment, wo gewisse Empfindungen oder ein bestimmter Theil einer Empfindung als Veränderung des eigenen Zustandes gefühlt wird, da werden auch andere Empfindungen oder ein anderer Theil der Empfindung auf die Beschaffenheit eines äusseren Eindrucks bezogen; denn in dem Moment, wo das eigene Ich getrennt wird von den Objekten, da werden selbstverständlich auch die Objekte getrennt von dem Ich.

Die Trennung der Empfindung in ein subjektives und objektives Moment ist somit nur Produkt der Reflexion, und es entspricht derselben keine wirkliche Scheidung in der Empfindung. Dagegen ist diese Trennung allerdings durch die Beschaffenheit des erregenden Reizes bedingt, die entweder auf einen objektiven Eindruck oder auf eine Veränderung des empfindenden Organs hinweist, oder aber beides in sich vereinigt. Bei den Organempfindungen, die zum Gemeingefühl hauptsächlich beitragen, ist die Beschaffenheit der Reize eine solche, dass die Empfindungen vollkommen subjektiv bleiben, bei den eigentlichen Sinnesempfindungen werden die Reize objektivirt, lassen aber in den meisten Fällen noch eine Veränderung des eigenen Zustandes zur Wahrnehmung kommen.

Wir gelangen so zu dem Ergebniss, dass alle empfindenden Organe mit Einschluss der eigentlichen Sinnesorgane zum Gemeingefühl beitragen. In den Empfindungen aller dieser Organe liegt — mit wenigen noch zweifelhaften Ausnahmen — ein subjektives Moment, das entweder den ganzen oder den theilweisen Inhalt der Empfindung ausmacht. Dieses subjektive Moment, die Auffassung einer Veränderung des eigenen Zustandes, nennen wir Gefühl, im Gegensatz zu der Empfindung im engern Sinne, die sich auf das Empfinden eines äusseren Gegenstandes oder einer objektiven Bewegung bezieht. Die Trennung von Gefühl und Empfindung ist aber erst

Produkt der Wahrnehmung, der Reflexion, eine Trennung, die da beginnt, wo wir unser Ich trennen von den äusseren Objekten, d. h. wo das Selbstbewusstsein seinen Anfang nimmt. Alle Gefühle, die sich unter das Gemeingefühl ordnen lassen, treten daher als Gefühle erst mit dem Selbstbewusstsein auf: sie sind ebenso wenig wie die Empfindungen im engern Sinne etwas Ursprüngliches. Die Gefühle, die wir als Elemente des Gemeingefühls betrachten, sind selber keine elementaren Processe, sondern Produkte einer Reflexion, die erst auf einer bestimmten Stufe seelischer Ausbildung anfängt.

Wir haben bei dem, was man bisher Gemeingefühl genannt hat, zweierlei zu unterscheiden: erstens das einfache Gefühl, das wie die Empfindung als Einheit, unvermischt mit davon getrennten Wahrnehmungen, percipirt wird, und zweitens das Gemeingefühl, das sich aus der Summe aller gleichzeitigen Gefühle zusammensetzt, aber so zusammensetzt, dass es nicht diese Summe selber, sondern allein der Schluss auf das gleichzeitige Stattfinden der Summe der Gefühlseindrücke ist. Schon das einfache Gefühl ist Produkt einer Reflexion, welche an der reinen Empfindung das subjektive von dem objektiven Moment trennt, und diese Reflexion wiederholt sich in zusammengesetzterer Weise im Gemeingefühl, welches das Produkt der durch successive Perception ermittelten aber als gleichzeitig aufgefassten Gefühle darstellt.

2. Ueber den Muskelsinn.

Unter den dem Gemeingefühl zugerechneten Sensationen sind die Empfindungen der willkürlichen Muskeln für die Bildung der Wahrnehmungen von so hervorragender Bedeutung, dass sie hier einer speciellen Betrachtung bedürfen. Es sind diese Empfindungen gewissermassen in die Mitte gestellt zwischen die subjektiven Gefühle und die Perceptionen der objektiven Sinne. Ihrem Wesen nach sind sie vollkommen subjektiv, aber in ihrer Verbindung mit den äusseren Sinneseindrücken wurzelt der ganze Umfang unserer objektiven Erkenntniss. Hierin mag die Berechtigung liegen, diese Empfindungen unter dem Namen des Muskelsinnes zusammenzufassen, und denselben den fünf objektiven Sinnen als sechsten oder subjektiven Sinn an die Seite zu stellen.

Ueber keinen Gegenstand in der Physiologie der Sinne giebt es widersprechendere Ansichten als über diesen Muskelsinn. Während die Einen demselben die höchste Wichtigkeit

zugestehen und ihn mindestens als den übrigen Sinnen gleich berechtigt betrachten wollen, sind die Andern geneigt, sogar seine Existenz zu leugnen. Es wird nothwendig sein, ehe wir auf die Betrachtung der Muskelempfindungen und ihrer Bedeutung eingehen, die in letzterer Hinsicht gemachten Einwürfe näher zu beleuchten.

Man hat die Existenz der Muskelgefühle von zwei verschiedenen Standpunkten aus geleugnet. Es giebt erstens eine, besonders von Philosophen vertretene, Ansicht, wonach wir zur Wahrnehmung unserer eigenen Bewegung gar keines besonderen Sinnes bedürfen, sondern von derselben eine unmittelbare Kenntniss besitzen sollen, und es giebt zweitens eine Ansicht, die von mehreren Physiologen aufgestellt ist, nach welcher zwar die Zusammenziehung der willkürlichen Muskeln von Empfindungen begleitet sei, diese Empfindungen aber nicht in den Muskeln selbst, sondern entweder in der bedeckenden Haut oder im umgebenden Bindegewebe ihren Sitz haben sollen.

Für die Behauptung, dass unsere Bewegung ohne jede Empfindung zum Bewusstsein gelangen könne, stützt man sich auf verschiedene Gründe.*) Man sagt: ein Muskel- oder Bewegungssinn würde selbst doch schon die Bewegung voraussetzen, damit er der Zusammenziehung als einer Bewegung inne werden könne. Dieser Einwand würde nur haltbar sein, wenn der Muskelsinn isolirt dastünde und nicht von den Empfindungen der andern Sinne, insbesondere der tastenden Glieder, fortwährend begleitet wäre. Wie die Muskelempfindungen für sich jemals zur ersten Vorstellung der Bewegung führen sollten, würde allerdings schwer begreiflich sein, aber es ist dies leicht ableitbar, wenn man, wie es der Wirklichkeit entspricht, die gleichzeitige Thätigkeit aller Sinne zu Hülfe nimmt. Erst nachdem die Zusammenwirkung mit andern Sinnen in die Muskelempfindungen ein bestimmtes räumliches Maass gebracht hat, können diese auch schon für sich die Vorstellung der Bewegung vermitteln. Dabei muss man sich hier, wie überall bei der Beurtheilung ähnlicher Dinge, hüten, dass man nicht die physiologische mit der metaphysischen Frage verwechsele. Ueber das metaphysische Wesen der Bewegung giebt uns der Muskelsinn freilich ebenso wenig Aufschluss wie die räumliche Wahrnehmung über das metaphysische Wesen des Raumes. Wer dies erwartet, der stellt

*) Vergl. bes. Trendelenburg, Logische Unters. Berlin 1840. Bd. I.

an die naturwissenschaftliche Theorie eine Anforderung, die sie weder befriedigen kann noch darf.

Man macht von diesem Standpunkte aus ferner folgenden Einwand: die einfachste äussere Bewegung fordert ein so complicirtes Zusammenwirken von Muskelgruppen, dieselbe einfache Bewegung kann ausserdem auf so verschiedene Weise in Stand gesetzt werden, dass es nicht begreiflich ist, wie erstens eine so zusammengesetzte wirkliche Bewegung zu einer äusserst einfachen Bewegungsvorstellung führt, und wie zweitens diese so verschiedenen Ursprungs sein kann. Es deutet dies, sagt man, darauf hin, dass wir eben nicht die einzelnen Muskelzusammenziehungen, sondern nur die aus diesen resultirende äussere Bewegung wahrnehmen. Zur Verfolgung einer geraden Linie z. B. bedürfen wir complicirter Bewegungen, von denen jede für sich genommen, keine Andeutung der geraden Linie enthält, wir können die Linie ferner mit den tastenden Händen oder mit dem Auge verfolgen, immer bleibt die Vorstellung der Geraden dieselbe.

Auch dieser Einwand fällt bei näherer Betrachtung zusammen. Es ist in der That nicht einzusehen, warum es uns unmöglich sein sollte, aus verschiedenen bedingenden Momenten dasselbe Resultat abzuleiten, warum nicht Zusammenziehungen sehr verschiedener Muskelgruppen die gleiche Wahrnehmung der Bewegung zu Stande bringen sollten, wenn eben die Bewegung selber in den verschiedenen Fällen die gleiche war. Es ist ein Missverständniss, wenn man die Sache so auffasst, als wenn wir durch den Muskelsinn von dem ganzen physiologischen Mechanismus einer Bewegung eine unmittelbare Kenntniss besitzen müssten: wie wir mit unsern objektiven Sinnen nur die äussere Bewegung wahrnehmen, so besitzen wir auch im Muskelsinn selber nur ein Maass für diese äussere Bewegung oder, noch allgemeiner, für das Ziel, das wir bei unsern Muskelzusammenziehungen haben; wir lernten früher bereits einen Fall kennen, wo dieses Ziel nicht einmal eine äussere Bewegung war, sondern in der Verdeutlichung der gesehenen Gegenstände bestand, und wo sich trotzdem der Einfluss der Muskelempfindungen direkt nachweisen liess.*) Welche Muskeln bei einer gegebenen Bewegung contrahirt sind, davon wissen wir natürlich nichts, wir kennen nur die Bewegung, die wir ausgeführt haben, und den äusseren Körpertheil, mit dem wir sie ausgeführt haben. Wenn wir eine und dieselbe Bewegung auf verschiedene Weise zu Stande bringen, so wissen

*) Abhandlung III, 1 und 2.

wir wohl, dass die Bewegung dieselbe war, es ist aber trotzdem an sie ein unterscheidendes Gefühl geknüpft, wodurch wir die gleichen Bewegungen verschiedener Körpertheile und die mit verschiedener Muskelanstrengung ausgeführte Bewegung desselben Theils sogleich unterscheiden. Allen diesen Einwänden kann man als schlagendsten Grund gegenüberhalten, dass die Empfindung bei der Contraktion unserer willkürlichen Muskeln eine Thatsache ist, über deren Vorhandensein sich nicht streiten lässt, über deren Ableitung man höchstens noch verschiedener Meinung sein kann.

Weit weniger erheblich ist daher der Widerspruch jener Physiologen, welche zugeben, dass die Muskelcontraktionen von Empfindungen begleitet sind, welche aber den Sitz dieser Empfindungen nicht in die Muskeln selber, sondern in die bedeckenden oder umgebenden Theile verlegen. Wenn es nur darauf ankäme, die Muskelempfindungen zur Ableitung gewisser Wahrnehmungen zu benützen, so könnte man sich jene Ansicht vielleicht gefallen lassen, da wenigstens manche wesentliche Erscheinungen durch sie ebenso gut erklärt werden wie durch einen Muskelsinn, der an die contraktile Substanz selber gebunden ist. Aber es ist klar, dass, wenn selbst beide Ansichten in dieser Hinsicht sich gleichberechtigt gegenüberständen, es immer noch auf einen direkten Beweis für die eine oder für die andere ankäme. Wir werden einen solchen Beweis zu Gunsten des eigentlichen Muskelsinns nachher liefern; zunächst haben wir die Gründe ins Auge zu fassen, die man zu Gunsten der entgegenstehenden Ansicht beigebracht hat, und einige Schwierigkeiten zu erwähnen, die sich schon ohne nähere Untersuchung dieser Ansicht entgegenstellen.

Wir übergehen hier eine Anzahl indirekter Gründe, die angeführt worden sind, als unerheblich, da dieselben nur zeigen sollen, dass die Empfindungen, die man bei den Tast- und Ortsbewegungen beobachtet, auch ohne Schwierigkeit aus der Faltenbildung und Dehnung der Haut und aus andern Momenten abgeleitet werden können. Direkte Gründe hat man für die Leugnung eines wahren Muskelgefühls nur zwei beigebracht: erstens die Unempfindlichkeit der Muskeln bei Reizung ihrer Substanz durch mechanische und chemische Reize, und zweitens gewisse Beobachtungen an Kranken, die ein Verlaufen der das Muskelgefühl beherrschenden Nervenfasern in den hintern Nervenwurzeln, von welchen keine Fasern in das Innere der Muskeln eingehen, beweisen sollen.*)

*) Vergl. Schiff, Lehrb. der Physiologie, Bd. I. S. 156 u. f.

Was den ersten Punkt betrifft, so wurde schon im vorigen Abschnitt darauf hingewiesen, dass nach den vorliegenden Beobachtungen die Unfähigkeit eines gegebenen Organs auf bestimmte Reize Schmerz zu empfinden, wenn auch diese Reize in andern empfindenden Theilen heftigen Schmerz erregen, nicht darauf schliessen lasse, dass das betreffende Organ überhaupt empfindungslos sei, sondern es kann dasselbe möglicher Weise auf Reize anderer Art mit Empfindungen antworten. Wir haben gesehen, dass dies gerade für die wichtigsten Sinnesnerven zutrifft. Sehnerv, Hör- und Geruchsnerv veranlassen bei der Durchschneidung keine Schmerzempfindung, während heftige Licht-, Schall- und Geruchseindrücke durch diese Nerven Schmerz zu Stande bringen. Ganz ebenso verhält es sich mit den Muskeln: während dieselben auf mechanische Reizung fast unempfindlich sind, finden wir in ihnen bei starker Ermüdung in Folge oft wiederholter Zusammenziehungen das eigenthümliche Gefühl des Muskelschmerzes, von dem sich mit Bestimmtheit zeigen lässt, dass es im Muskel selbst und nicht in der bedeckenden Haut seinen Sitz hat. Die Muskeln verhalten sich also hierin wie die übrigen Sinnesorgane: sie reagiren vorwiegend nur auf den ihnen entsprechenden Reiz mit Empfindung, dieser Reiz aber ist ihre eigene Zusammenziehung.

Die Beobachtungen an Kranken, die man gegen die Existenz eines eigenen Muskelsinnes angeführt hat, betreffen Degenerationen der hintern Nervenwurzeln oder der Spinalganglien. Man behauptet, bei diesen Degenerationen schwinde das Muskelgefühl zugleich mit der Empfindlichkeit der Haut. Hieraus würde hervorgehen, dass die das Gefühl der Muskelzusammenziehung vermittelnden Fasern in den hintern Wurzeln verlaufen. Nun lässt sich aber beweisen, dass aus den hintern Wurzeln keine Nerven entspringen, die sich in den Muskeln verbreiten; denn durchschneidet man in der Lendenanschwellung das Rückenmark und die Nervenwurzelanfänge, so degeneriren in der peripherischen Verbreitung nur die Fasern, die aus den vordern Wurzeln kommen. Man findet aber in Folge jener Durchschneidung nach einiger Zeit alle Fasern in den Muskeln atrophisch geworden.

Dieser Schluss würde bindend sein, wenn seine erste Prämisse gesichert wäre, nämlich der Satz, dass mit der Sensibilität der Haut immer zugleich das Muskelgefühl leide oder schwinde. Dieser Satz ist aber so weit von Sicherheit entfernt, dass man aus den zahlreichen klinischen Berichten, die über Lähmungsfälle existiren, und aus eigenen Beobachtungen

viel eher, wie mir scheint, das Gegentheil herauslesen könnte, wenn nicht, bei der Schwierigkeit und Seltenheit der anatomischen Untersuchung nach dem Tode und bei der noch grösseren Schwierigkeit, diese Untersuchung genügend verwerthen zu können, es am gerathensten wäre, der Krankenbeobachtung in diesem Fall möglichst wenig Zutrauen zu schenken. In den vielen klinischen Berichten, die zur Bestätigung des Bell'schen Gesetzes kurze Zeit nach der allgemeinen Aufnahme desselben veröffentlicht wurden, finden wir immer den Hauptschwerpunkt des Beweises auf jene Fälle gelegt, wo entweder die Sensibilität erloschen und die Bewegungsfähigkeit erhalten ist, oder wo umgekehrt die Bewegung gelähmt ist, während die Empfindlichkeit fortbesteht.*) Das Fortbestehen der Bewegung ist dabei in einer Weise geschildert, die einem Aufgehobensein des Muskelsinnes keineswegs das Wort redet, häufig wird erwähnt, dass bei completer Anästhesie die Bewegungen vollkommen kräftig und sicher erfolgt seien, und dies ist nur möglich, wenn in den Muskelgefühlen ein Maass für die Bewegung enthalten ist. Ich selbst erinnere mich einen Fall beobachtet zu haben, in welchem bei der vollständigsten Empfindungslosigkeit eine Sicherheit der Bewegung vorhanden war, die mir ohne Muskelgefühl unerklärlich wird. In diesem Fall, bei dem später die Autopsie einen akuten encephalitischen Process in der Hirnrinde nachwies, war kurze Zeit nach dem ersten Anfall eine so complete Anästhesie in der rechten Vorderextremität vorhanden, dass weder Berührung, noch Druck oder Stich im Geringsten gefühlt wurden, dagegen war die Bewegungsfähigkeit an derselben Extremität nur wenig alterirt, der Kranke konnte einen Gegenstand, den man ihm vorhielt, mit Sicherheit ergreifen, konnte die dargereichte Hand drücken, kurz es war nicht blos Bewegungsfähigkeit, sondern auch ein Maass für die Bewegungen vorhanden. — Schiff führt an, dass Kranke, die durch Druck auf die hintern Nervenwurzeln oder Degeneration derselben an vollkommener oder theilweiser Anästhesie der Haut leiden, die Füsse zwar noch willkürlich bewegen können, aber das Maass und die Zweckmässigkeit der Bewegungen durch das Gesicht beherrschen müssen. Hierbei ist aber zu beachten, dass zu einem sicheren Gehen nicht blos ein intaktes Muskelgefühl gehört, sondern dass wir auch den Boden fühlen

*) Vergl. die Fälle in Bell's physiologischen und pathologischen Untersuchungen des Nervensystems. Aus dem Englischen von Romberg. Berlin, 1836.

müssen, auf dem wir unsere Füsse bewegen; denn nach der Beschaffenheit des Bodens richten wir unsere Gehbewegungen ein, wir fühlen kleine Unebenheiten, wir fühlen, ob wir bergan, bergab oder in einer Ebene fortgehen. Ist das Gefühl aufgehoben, so würden wir bei jedem Schritte fallen, bei dem die Beschaffenheit des Bodens etwas sich ändert, der Anästhetische nimmt daher das Gesicht zu Hülfe, er verfolgt mit dem Auge den Weg, den er geht. Ein sprechender Beleg hierfür liegt in einem Fall, den Schiff aus seiner Beobachtung anführt: ein Kranker mit theilweiser Anästhesie der Füsse setzte, wenn er im Gehen sich unterhielt, seinen Stock nicht auf den Boden, sondern auf den Fussrücken, um ihn als Sonde für die Bewegungen des Fusses zu gebrauchen. Der Kranke sondirte seinen Gang in dieser Weise gerade während er sich unterhielt, weil er ihn dann mit dem Auge nicht verfolgen konnte, er fühlte dann den Weg, auf den er trat, mit der Hand durch den Fuss und den Stock hindurch. — In den meisten Fällen von Anästhesie, insbesondere wenn dieselbe im Rückenmark oder in den Rückenmarkswurzeln ihren Sitz hat, ist zweifelsohne theilweise Bewegungslähmung mit verbunden, und es wird dann natürlich die Beurtheilung noch weit schwieriger. Auch sind die Fälle, die von Anästhesie bei vollkommener Integrität der Bewegung erzählt werden, nie vollkommen sicher, da geringe Grade der Parese leicht übersehen und ihre Erscheinungen auf die Anästhesie geschoben werden. Bei solcher geringgradiger Parese ist oft das gewöhnliche Maass von Bewegungsfähigkeit erhalten, es ist nur zum Ausführen der Bewegung eine grössere Muskelkraft als gewöhnlich erforderlich. Dann aber spricht sich die Lähmung hauptsächlich in der Abweichung der Muskelgefühle aus: die Bewegungen werden ausgeführt, aber sie werden falsch beurtheilt, indem der Umfang der Bewegung nach dem der aufgewandten Kraft parallel gehenden Muskelgefühl bemessen wird. Wir werden auf Fälle dieser Art weiter unten bei den Augenmuskeln, wo sie näher beobachtet sind, noch zurückkommen.

Man ist wohl zu der Leugnung der eigenthümlichen Muskelempfindungen weniger durch derartige pathologische Beobachtungen geführt worden, als durch die Thatsache, dass nur aus den vordern Nervenwurzeln sich Fasern in den Muskeln verbreiten. Seit der allgemeinen Annahme des Bell'schen Gesetzes ist es nun ein fast von allen Physiologen recipirter Satz, dass die vordern Nervenwurzeln nur motorische, die hintern Nervenwurzeln nur sensible Fasern führen. Dieser Satz, dem die Versuche mit Durchschneidung der Nerven-

wurzeln das Wort reden, ist häufig unberechtigt dahin erweitert worden, dass man beiden Fasergruppen eine nur einsinnige Leitungsfähigkeit zugestand, indem man die vordern Wurzeln als centrifugal, die hintern als centripetal leitende ansah. Diese Erweiterung ist deshalb unberechtigt, weil sie den Schluss macht, dass die Verschiedenheit der Funktionen mit in einer verschiedenen Beschaffenheit der Nerven selber begründet liege, während es von vornherein viel wahrscheinlicher ist, dass es dabei lediglich auf die Endorgane im Gehirn und in der Peripherie des Körpers ankommt, die durch die Nerven verknüpft werden. Diese Wahrscheinlichkeit wird noch bedeutend erhöht durch die Thatsache, dass die elektrophysiologische Untersuchung an den Nervenwurzeln wie an den Stämmen der gemischten Nerven eine Fortpflanzung der Phasen des elektrotonischen Zustandes und der negativen Stromesschwankung nach beiden Richtungen hin nachweist.*) Aber man muss gegen die Fassung, in der das Bell'sche Gesetz zur Annahme gekommen ist, in der Skepsis noch einen Schritt weiter gehen. Alle Versuche, die zu Gunsten dieses Gesetzes angestellt worden sind, beweisen nur, dass die vordern Nervenwurzeln auf mechanische, chemische und elektrische Reize keine Schmerzempfindung vermitteln. Nun wissen wir aber, dass auch Seh-, Hör- und Geruchsnerv auf diese Reize nicht mit Schmerz antworten, sondern, wenn sie überhaupt den Reiz empfinden, nur in der ihnen eigenthümlichen Empfindungsqualität. Erwägen wir nun, dass die Muskelempfindungen bei einer strengeren Betrachtung sich diesen so genannten specifischen Sinnesempfindungen vollkommen gleichberechtigt gegenüberstellen, so ist nicht einzusehen, warum die Nerven, welche die Muskelempfindungen leiten, sich nicht gleichfalls jenen Sinnesnerven analog verhalten sollten;**) es findet dies

*) Vergl. du Bois-Reymond, Untersuchungen über thier. Elektricität, Bd. II, S. 582, und die ausführliche historische Kritik der Lehre von der doppelsinnigen Leitungsfähigkeit ebend. S. 570.

**) Ich habe hier nur ungern einem häufigen Sprachgebrauche mich anschliessend den Ausdruck „specifische Sinnesempfindungen" gebraucht. Dieser Ausdruck sollte in dem Sinne, wie er hier genommen ist, getilgt werden, weil er auf der missverständlichen Unterscheidung des Gefühlssinnes als eines allgemeinen Sinnes von den besondern Sinnen mit specifischer Empfindung beruht. Die Gefühlsempfindungen der Haut sind ebenso gut specifisch als die Gesichts-, Gehörsempfindungen u. s. w. Man muss alle Empfindungen specifisch nennen oder keine. Nach den Auseinandersetzungen des vorigen Abschnitts bedarf dies keiner weiteren Begründung mehr.

im Gegentheil seine Bestätigung darin, dass auch das peripherische Organ, der Muskel, ähnlich wie jene Sinnesorgane auf mechanische und andere Reize nicht mit Schmerzempfindungen antwortet. Wenn die vordern Nervenwurzeln ausser den motorischen Impulsen nur die eigenthümlichen Gefühle der Muskelzusammenziehung leiten, so darf man freilich nicht erwarten, dass die Thiere bei der Reizung dieser Wurzeln schreien und Fluchtversuche machen, wie bei der Reizung sensibler Hautnerven. Gesetzt, man habe eine vordere Wurzel durchschnitten und reize sie an ihrem centralen Ende, so wird vielleicht die Empfindung einer Muskelzusammenziehung die Folge sein, ähnlich wie bei der Reizung der Retina oder des Sehnerven ein Lichtblitz, so wenig das Thier hier heftige reflektorische Aktionen ausübt, ebenso wenig wird dies dort der Fall sein. Es kommt hier zweierlei in Betracht: erstens sind die Nerven, welche die Gesichts- oder Muskelempfindungen vermitteln, offenbar nicht wie die Hautnerven mit den Muskeln der Körperbewegung in einen leichtbeweglichen Reflexzusammenhang gesetzt, und zweitens erregen mechanische, chemische und elektrische Reize, selbst wenn sie von bedeutender Stärke sind, jene empfindenden Nerven weit weniger als die empfindenden Hautnerven. Man kann die stärksten elektrischen Ströme durch den Kopf leiten, ohne dass die auftretenden elektrischen Lichtempfindungen Beschwerde verursachen, während der Schmerz der Hautnerven dabei sehr bald unerträglich wird.

Schon vor längerer Zeit sind von verschiedenen Seiten Zweifel an der Statthaftigkeit der gangbaren Form des Bellschen Gesetzes in dieser Beziehung geäussert worden. Namentlich hat W. Arnold bemerkt, dass die Thatsachen keinen andern Schluss erlauben, als die hintern Wurzeln als Ursprungsfasern der Hautnerven, die vordern Wurzeln als Ursprungsfasern der Muskelnerven zu betrachten. Arnold suchte durch direkte Versuche zu beweisen, dass nach Durchschneidung der hintern Wurzeln und nach Entfernung der die Muskeln bedeckenden Haut das Muskelgefühl erhalten bleibt.*) Durchschneidet man einem Frosch die hintern Wurzeln für eine Extremität und bringt man diese in eine ausgestreckte Lage, so findet zunächst allerdings kein Anziehen des Beines durch Reflexion statt, wie dies der Fall ist, wenn die hintern Wurzeln erhalten blieben; aber sowie das Thier eine Bewegung

*) J. W. Arnold, Ueber die Verrichtung der Wurzeln der Rückenmarksnerven. Heidelberg, 1844.

auszuführen beabsichtigt, bringt es zuvor das Bein in diejenige Lage, die für die Ausführung der Bewegung die geeignetste ist, und wenn es dann den Sprung ausführt, so wird das unempfindliche Bein gerade so gebraucht wie das unverletzte. Zieht man ferner einem Frosch, dessen Nerven unverletzt sind, die Haut des einen Schenkels ab, so verhält sich das entblösste Bein gerade so, wie wenn die hintern Nervenwurzeln durchschnitten worden wären, d. h. es ist dasselbe nicht reflektorisch erregbar, aber die Vorbereitung zu einer Bewegung und die Bewegung selber geschieht mit dem enthäuteten Bein ganz in derselben Weise wie mit dem unverletzten.

Diese zwei Versuche, die leicht zu wiederholen sind und sich immer bestätigen, beweisen, wie mir scheint, unumstösslich, sowohl dass die hintern Nervenwurzeln nicht die Leitungsfasern für die Muskelempfindungen enthalten, als auch dass das Muskelgefühl nicht in der die Muskeln bedeckenden Haut seinen Sitz hat. Denn wenn das Muskelgefühl, wie Jeder, der ein solches statuirt, zugiebt und wie die Erfahrung bestätigt, wesentlich ein Maass der Bewegungen ist, das den Umfang und die Energie derselben genau regulirt, wie sollte dann die Bewegung nach Lähmung des Muskelgefühls durch Durchschneidung der hintern Wurzeln noch ungestört fortbestehen? Es müsste mindestens erwartet werden, dass die Regulation der Bewegungen aufgehoben sei, dass diese also durchaus unregelmässig und unzweckmässig erfolgten. Ebenso wenig lässt sich die Ansicht aufrecht halten, dass das Muskelgefühl in der Haut seinen Sitz habe, es müsste dann nach der Entblössung der Muskeln ebenfalls die Bewegung ihr Maass verlieren, was, wie wir sehen, ebenso wenig in Wirklichkeit eintrifft.

Die zwei angeführten Grundversuche, die, wie es scheint, vergessen worden sind, sind nach meinem Dafürhalten vollkommen genügend, um die zwei Thatsachen zu beweisen, dass die Muskelempfindungen in den Muskeln selber ihren Sitz haben, und dass die vordern und nicht die hintern Rückenmarkswurzeln die Fasern, welche diese Empfindungen leiten, enthalten. Wenn ich jetzt noch einige weitere Beweise beifüge, so geschieht dies theils um zu zeigen, dass auch alle übrigen Erscheinungen mit den genannten Thatsachen übereinstimmen, theils um einige Momente hervorzuheben, die in den obigen Versuchen nicht so deutlich zu sehen sind. Ich werde noch sechs Beweise anführen, von denen die vier ersten nur eine starke Wahrscheinlichkeit ergeben, da sie eine entgegengesetzte Erklärung mindestens als gezwungen erscheinen

lassen, während die zwei letzten als direkte Beweise zu betrachten sind, welche die obigen Grundversuche sehr wesentlich ergänzen. Die meisten dieser anzuführenden Beweise haben wir in anderm Zusammenhang gelegentlich in den vorigen Abhandlungen schon kennen gelernt, auf die daher hinsichtlich ihrer ausführlicheren Besprechung zum Theil verwiesen werden muss.

1) An die Convergenz der Sehaxen ist eine Empfindung geknüpft, in der für uns ein sehr genaues Maass der relativen Grösse des Convergenzwinkels, d. h. der relativen Entfernung der fixirten Gegenstände enthalten ist. Dieses Maass ist annähernd gleich scharf, ob wir von entfernteren zu näheren oder von näheren zu entfernteren Gegenständen übergehen, ob wir also den Convergenzwinkel vergrössern oder verkleinern. Wir betrachten die Empfindung bei der Convergenz und Divergenz der Sehaxen als eine Muskelempfindung. Diese Annahme bleibt jedoch einigen nicht unmittelbar zu widerlegenden Einwürfen ausgesetzt. Man kann nämlich behaupten, die Convergenzempfindungen, deren thatsächliches Vorhandensein nicht geleugnet werden kann, seien auch ableitbar aus einer Zerrung der Conjunktiva oder aus einem Druck auf die in der Orbita gelegenen Nerven in Folge der Bewegung des Auges. Diese Ableitung wird aber zunächst unwahrscheinlich durch die grosse Feinheit der Empfindung, durch die wir im Stande sind Drehungsunterschiede des Auges, die nicht einmal einen Winkelgrad betragen, noch deutlich wahrzunehmen. Es ist sehr zweifelhaft, ob die Conjunktiva als eine so fein empfindende Schleimhaut betrachtet werden dürfe, dass sie die minimalen Verschiebungen, die bei derartigen schwachen Drehungen zu denken wären, noch deutlich zur Unterscheidung brächte, und noch schwerer ist es denkbar, dass das Fettgewebe der Orbita die dabei entstehenden Druckunterschiede als deutliche Empfindungsunterschiede auf die Orbitanerven fortpflanzen sollte. Es stimmt ferner nicht zu dieser Ableitung, dass das Unterscheidungsvermögen für die Convergenz und Divergenz annähernd von gleicher Schärfe ist, denn wenn man auch zugeben wollte, dass wir für eine Dehnung oder für einen Druck eine scharfe Empfindung besitzen, so würde doch die Annahme, es sei diese Empfindung beim Nachlassen des Drucks und der Dehnung ebenso scharf, mit andern Thatsachen im Widerspruch stehen, die wir im Folgenden anführen werden.

2) Wir sind im Stande, durch das Accommodationsgefühl beim Sehen mit einem Auge über die relative Entfernung der Objekte zu urtheilen (Abh. III, 1.). Dass das Accommoda-

tionsgefühl uns hierbei leitet folgt aus der Beschränkung in die Grenzen der Accommodationsbreite. Wir haben das Accommodationsgefühl aus der Contraktionsempfindung der bei den Accommodationsbewegungen betheiligten Muskeln innerhalb des Auges abgeleitet. Die Berechtigung dieser Ableitung haben wir insbesondere daraus gefolgert, dass wir nur für die Annäherung der Objekte ein unterscheidendes Accommodationsgefühl besitzen, während wir auf die Weiterentfernung derselben nur aus der scheinbaren Grössenänderung zu schliessen vermögen, weshalb beim Sehen mit einem Auge innerhalb der Accommodationsbreite die Unterscheidungsgränze für die Annäherung kleiner ist als die Unterscheidungsgrenze für die Entfernung. Man könnte hiergegen behaupten, ein solches Verhältniss sei auch denkbar, wenn man das Accommodationsgefühl aus einem Druck auf die inneren Gebilde des Auges herleite: das Entstehen des Drucks könne mit einer Empfindung verknüpft sein, während das Nachlassen des Drucks ohne solche geschehe. Dann findet man sich aber im Widerspruch mit den in der vorigen Nummer angeführten Thatsachen: dort müsste angenommen werden, Entstehen und Verschwinden des Drucks oder der Zerrung seien von gleichem Einflusse, hier wird ein solcher Einfluss nur dem entstehenden Druck zugesprochen. Beide Fälle zusammengenommen scheinen mir daher für die Ableitung aus dem Muskelgefühl vollkommend beweisend. In der That sind nur dann die Resultate in Uebereinstimmung zu bringen: das Accommodationsgefühl ist deshalb blos bei der Accommodation für die Nähe vorhanden, weil blos diese mit einer aktiven Muskelwirkung verbunden ist, dagegen giebt es Convergenz- und Divergenzempfindungen von annähernd gleicher Schärfe, weil im einen Fall die innern, im andern Fall die äussern geraden Augenmuskeln in aktiver Zusammenziehung begriffen sind.

3) Wenn man über einer Stelle, deren Muskeln man in willkürliche Bewegung versetzt, die Haut verschiebt oder emporhebt, so dauern nichts desto weniger die Muskelempfindungen fort, und man kann bei diesem Versuch deutlich die Empfindungen in den Muskeln bei ihrer Zusammenziehung und die Empfindungen in der Haut in Folge von Druck und Faltenbildung von einander unterscheiden. Die ersteren Empfindungen bleiben immer unverändert, die letzteren verändern sich oder hören ganz auf. Wenn Schiff behauptet, das Muskelgefühl der Wange verschwinde, wenn man über derselben die Haut am Backenbart emporhebe, so kann diese Angabe nur auf einer Verwechslung des Muskelgefühls mit

dem Gefühl von Druck in der Wangenhaut beruhen. Beide sind unter gewöhnlichen Verhältnissen zu einer complexen Empfindung vereinigt, durch das Emporheben der Haut aber vermag man leicht sie zu trennen.

4) E. H. Weber hat nachgewiesen, dass wir mittelst des Muskelgefühls weit feiner Gewichte zu unterscheiden vermögen, als mittelst des Tastsinns.*) Lässt man einen Beobachter die Hand auf den Tisch legen, so dass sie ganz unterstützt ist, und legt man ihm, während er die Augen wegwendet, abwechselnd verschiedene Gewichte auf, so beruht sein Urtheil über den Druckunterschied auf dem Tastsinn. Lässt man dagegen den Beobachter ein zusammengeschlagenes Tuch, in welchem das Gewicht hängt, mit der Hand halten und mit dem Arm heben, so beruht sein Urtheil auf dem Muskelgefühl. Es zeigt sich nun, dass in beiden Fällen die Fähigkeit der Unterscheidung eine sehr verschiedene ist. Während wir durch den Tastsinn höchstens Gewichte zu unterscheiden vermögen, die sich wie 29 : 30 verhalten, können wir durch das Muskelgefühl noch vollkommen leicht Gewichte trennen, die sich wie 39 : 40 verhalten. — Auch gegen die Beweiskraft dieser Versuche hat man Einwände erhoben, indem man behauptete, wir hätten schon vor der Bewegung ein genaues Bewusstsein der Höhe, bis zu welcher wir die Hand erheben wollten, die Erhebung geschehe aber bei dem grösseren Gewichte langsamer als bei dem kleineren, und wir urtheilten aus der verschiedenen Geschwindigkeit auf die verschiedene Grösse des gehobenen Gewichts.**) Hierauf ist aber zu erwiedern, dass wir, wie man beim ersten derartigen Versuch sogleich sieht, sehr gut Geschwindigkeit der Bewegung und Grösse der bewegten Masse unterscheiden. Wir halten ein kleines Gewicht, das wir langsam in die Höhe heben, deshalb nimmermehr für grösser. Ebenso ist es durchaus unrichtig, wenn behauptet wird, wir seien schon vor aller Bewegung genau der Grösse der Kraft uns bewusst, die unsere Muskeln aufwenden sollen; wir kennen diese Kraft nur, wenn wir vorher mit demselben Gewicht schon Hebungsversuche gemacht haben. Wir haben allerdings meistens eine gewisse Vorstellung von der Kraft, die wir aufwenden müssen, um eine Masse mit vorausbestimmter Geschwindigkeit zu bewegen, schon vor der Bewegung, aber wir täuschen uns hierin sehr häufig, und wir corrigiren dann unsere Vorstellung nachträglich in den

*) Art. Tastsinn und Gemeingefühl, S. 546.
**) Schiff, a. a. O. S. 158.

ersten Momenten der Bewegung. Wie die Geschwindigkeit der Bewegung und die Grösse der bewegten Masse in unserer Vorstellung scharf von einander geschieden sind, so vermögen wir sie auch durch unser Muskelgefühl strenge von einander zu scheiden, und es ist sehr wahrscheinlich, dass wenn nicht im Muskelgefühl jene Trennung schon gelegen wäre, wir in der Vorstellung niemals zu derselben gelangen würden.

5) In hohem Grade beweisend für die Existenz der Muskelempfindungen sind endlich die Fälle von theilweiser Muskellähmung des Auges. Es existirt eine grosse Zahl pathologischer Beobachtungen der Art aus älterer und neuerer Zeit. Ich habe als ein besonders beweisendes Beispiel die genau verfolgten Beobachtungen von Graefe's über Parese des Abducens angeführt.*) Bei Kranken mit theilweiser Lähmung dieses Muskels ist das ganze Gesichtsfeld des betreffenden Auges nach Aussen verschoben, da der stärkere Contraktionsimpuls mit einer stärkeren Bewegung verwechselt wird. Aehnliche Beobachtungen sind neuerdings von Langenhaun mitgetheilt worden.**) Ein Kranker, dem der linke Rectus internus zurückgelagert war, verlegte alle Gegenstände zu weit nach rechts; wurde ein Objekt nach rechts bewegt, und sollte er dasselbe berühren, so fuhr er stets mit dem Finger nach rechts vorbei. Eine Kranke mit Lähmung des Oculomotorins fuhr mit dem Finger immer zu weit in die Höhe, wenn sie rasch ein aufwärts bewegtes Objekt berühren sollte. In beiden Fällen wurde also die Bewegung zu weit nach der Richtung hin ausgeführt, nach welcher der kranke Muskel das Auge richten musste. Stets braucht der geschwächte Muskel zur Ausführung einer bestimmten Bewegung eine stärkere Innervation als im gesunden Zustande, und diese stärkere Innervation erzeugt die Vorstellung einer umfangreicheren Bewegung als wirklich stattfand.

6) In den mitgetheilten pathologischen Fällen geht offenbar die falsche Beurtheilung des Bewegungsumfanges hervor aus der falschen Beurtheilung der aufgewendeten Muskelkraft, die nach der Stärke der Innervation geschätzt wird. Dass die Muskelkraft die Wahrnehmung des Bewegungsumfanges bestimmt lässt sich, wie ich früher gezeigt habe, an jedem normalen Auge beweisen. (S. Abh. III, 4.) Jede vertikale Bewegung und in Folge dessen auch jede vertikale Distanz scheint uns in demselben Verhältnisse die gleich grosse hori-

*) Abhandl. III, 4.

**) Dissertatio, Berolin. 1858, Meisners's Jahresber. f. 1859, S. 611.

zontale Bewegung und horizontale Distanz zu übertreffen, als die aufgewendete Muskelkraft im ersten Fall diejenige im zweiten übertrifft; beide nähern sich dem Verhältnisse 5: 4. Jeder, der sich die Mühe nimmt, Distanzschätzungen nach der früher beschriebenen Methode von verschiedenen Personen vornehmen zu lassen, wird sich von der Richtigkeit der angegebenen Verschiedenheit horizontaler und vertikaler Entfernungen überzeugen. Anderseits stimmen sowohl meine Bestimmungen der Muskelkräfte für diese Bewegungen wie die Messungen Ruete's am Ophthalmotrop*) mit jener Verschiedenheit der Entfernungsschätzung überein. Man muss ein solches Zusammentreffen entweder für rein zufällig erklären, in welchem Falle man für jene Eigenthümlichkeit unserer Wahrnehmung lediglich keine irgend denkbare Ursache aufzufinden vermag, oder man muss den hier angenommenen Causalzusammenhang statuiren, der sich überdies als nothwendig herausstellt, wenn man die Richtigkeit der oben angeführten pathologischen Beobachtungen zugiebt.

Von den hier erörterten Beweisen sind einzelne für sich schon so gewichtig, dass sie die Existenz eigenthümlicher Muskelempfindungen vollständig darzulegen im Stande sind, die Gesammtheit dieser Beweise aber setzt diese Muskelempfindungen und ihre Bedeutung für die räumliche Wahrnehmung ausser allen Zweifel. Die Thatsachen berechtigen uns nicht nur sondern zwingen uns dazu, einen selbstständigen Muskelsinn anzunehmen, der als der wichtigste subjektive Sinn den objektiven Sinnen sich anreiht, welche erst im Verein mit ihm die objektive Wahrnehmung zu vermitteln im Stande sind.

Wir wenden uns jetzt zur Betrachtung der wesentlichen Eigenthümlichkeiten des Muskelsinns, so weit dieselben nach den bisherigen Untersuchungen sich feststellen lassen. Zunächst heben wir als charakteristisch hervor, dass die Muskelempfindung nur den Akt der Zusammenziehung des Muskels begleitet. Diese Thatsache, die schon a priori viele Wahrscheinlichkeit für sich hatte, ist jetzt durch unsere Accommodations- und Convergenzversuche bewiesen. Wir sahen, dass das Accommodationsgefühl uns nur für die Annäherung der Gegenstände ein Maass giebt, während wir auf die Entfernung derselben erst aus der scheinbaren Grössenänderung zu schliessen vermögen, daher innerhalb des Accommodationsgebietes beim Sehen mit einem Auge die Unterscheidungsgrenze für die

*) Ruete, Ein neues Ophthalmotrop, Leipzig, 1857. S. 45 u. f.

Annäherung weit feiner gefunden wurde als die Unterscheidungsgrenze für die Entfernung. Wir sahen aber ferner, dass das Convergenzgefühl annähernd gleich scharf ist bei der Entfernung wie bei der Annäherung der Objekte, und wir mussten diesen Unterschied von der Accommodation darauf zurückführen, dass nur der Accommodation für die Nähe eine aktive Muskelwirkung entspricht, während sowohl bei der Convergenz als bei der Divergenz der Sehaxen aktive Muskelwirkungen vorhanden sind.

Eine zweite Thatsache, die aus den bisherigen Untersuchungen hervorgeht, ist die grosse Feinheit der Muskelempfindungen. Diese geht so weit, dass die Muskeln in dieser Hinsicht unsern schärfsten objektiven Sinnesorganen, dem Gesicht und Gehör, an die Seite gestellt werden können. Im ersten Abschnitt der vorigen Abhandlung wurden Messungen mitgetheilt, aus denen die grosse Schärfe hervorgeht, mit der wir im Stande sind geringe Differenzen im Grad der Zusammenziehung zu unterscheiden. Ich lasse hier noch eine Berechnung der dort gegebenen Versuchstabelle folgen, in welcher S die Entfernung des Fadens vom Auge in Cm. und s den entsprechenden Drehungswinkel des Auges bedeutet, s ist der Winkel, um welchen das Auge gedreht werden muss, damit dasselbe auf den der Entfernung S entsprechenden Convergenzgrad eingestellt werde, s ergänzt also den halben Convergenzwinkel zu 90^0; A und E bedeuten ferner die schon in der früheren Tabelle gegebenen Unterscheidungsgrenzen für Annäherung und Entfernung; hieraus sind die Winkel a und e berechnet, welche den diesen Unterscheidungsgrenzen entsprechenden Drehungswinkel des Auges bezeichnen, a und e sind also die eben noch merklichen Convergenz- und Divergenzdrehungen in Winkelsekunden ausgedrückt.

S	s	A	E	a	e
180	$89^0 2,5'$	3,5	5	68″	98″
170	$88^5 59'$	3	4	66″	88″
160	$88^0 55,5'$	3	3	73″	73″
150	$88^0 51'$	3	3	85″	85″
130	$88^0 40,5'$	2	3	74″	112″
110	$88^0 26'$	2	2	104″	104″
80	$87^0 51'$	2	2	199″	199″
70	$87^0 32,5'$	1,5	1,5	193″	193″
50	$86^0 34'$	1	1	252″	252″

Ich habe über die Zeit der Individuen, an denen ich diese Messungen vornehmen konnte, nicht so zu disponiren vermocht, dass ich ein genügendes Beobachtungsmaterial er-

hielt, wie es bei der angewandten Methode der eben merklichen Unterschiede geboten ist, um Schlüsse über das Gesetz, nach welchem sich die Empfindungsschärfe verändert, zu ziehen. Auch kam es mir bei diesen Beobachtungen vorwiegend darauf an, annähernd die Genauigkeit festzustellen, mit der wir im Stande sind Unterschiede im Grad der Muskelzusammenziehung aus den Muskelempfindungen zu bemerken, über welchen Gegenstand bis jetzt Beobachtungen noch nicht vorliegen. Es ergiebt sich, dass bei möglichst günstiger Entfernung der Objekte diese Unterscheidungsgrenze noch nicht einer Winkelminute am Auge entspricht, was mit der für die kleinsten Flächendistanzen beobachteten Unterscheidungsgrenze sehr nahe zusammenfällt.

Es zeigt sich, dass die Unterscheidungsfähigkeit am günstigsten ist in grösserer Entfernung vom Auge, während sie relativ geringer wird in grösserer Annäherung, indem sie hier bis auf mehrere Winkelminuten ansteigt. Wir haben hier höchst wahrscheinlich nur einen speciellen Fall des allgemeinen psycho-physischen Gesetzes vor uns. Auch hierin entsprechen die Resultate den sonstigen Beobachtungen, dass mit wachsender Convergenz die Winkel a und e mehr zunehmen, als nach dem Gesetz zu erwarten wäre.

Genauer untersucht ist der Muskelsinn in Bezug auf die Kraft der Zusammenziehung. Es liegen uns hierüber die älteren Beobachtungen von E. H. Weber und die neueren Untersuchungen von Fechner vor. Die Beobachtungen Weber's wurden oben schon als ein Hauptbeweis für die Existenz der Muskelempfindungen angeführt, indem in denselben eine sehr merkliche Verschiedenheit der Empfindungsschärfe beim Druck auf die Haut und bei der Hebung eines Gewichtes zu Tage tritt. Weber aber hat diese Beobachtungen weiter benützt, um das Gesetz darzulegen, nach welchem mit der Steigerung der Gewichte die Unterschiedsempfindlichkeit sich verändert, ein Gesetz, das nicht blos für die Muskelempfindungen, sondern für alle Sinnesempfindungen Gültigkeit hat. Weber fand nämlich, dass, wenn man verschiedene Gewichte durch Hebung mit einander vergleicht, der Unterschied dieser Gewichte, der gerade noch durch den Empfindungsunterschied wahrgenommen werden kann, nicht absolut sondern relativ constant bleibt, dass, wie Weber sich ausdrückt, „der Erfolg bei den Gewichtsbestimmungen derselbe ist, man mag Unzen oder Lothe nehmen, denn es kommt nicht auf die Zahl der Grane an, sondern darauf, ob das Uebergewicht den 30. oder den 50. Theil des Gewichtes ausmacht, welches mit einem

zweiten Gewichte verglichen wird." *) Wird also z. B. bei einem Gewicht von 10 Pfunden ein Zusatzgewicht von 1 Gramm noch wahrgenommen, so müssen bei einem Gewicht von 100 Pfunden 10 Gramme zugelegt sein, um noch wahrgenommen zu werden.

Fechner hat dieses Weber'sche oder psychophysische Gesetz, wie es von ihm genannt worden ist, im Gebiet der Gewichtsversuche durch sehr umfangreiche und sorgfältig ausgeführte Untersuchungen bestätigt. Dabei ist jedoch in den Fechner'schen Untersuchungen der Einfluss der Druckempfindungen nicht eliminirt, so dass Muskelsinn und Tastsinn nicht getrennt zur Darstellung kommen, wie dies in den Weber'schen Versuchen wenigstens näherungsweise und in so weit der Fall war, dass auf eine erheblich verschiedene Unterschiedsempfindlichkeit für beide Sinne geschlossen werden konnte. Dagegen ergiebt sich aus den Versuchen Fechner's, die durch ihre Methode einen weit höheren Grad von Genauigkeit zuliessen, das weitere wichtige Resultat, dass jenes psychophysische Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen gültig ist, dass es über dieselben hinaus aber seine Gültigkeit verliert.**) Dieser Punkt bedarf auch im Gebiet der Gewichtsversuche, mit Rücksicht auf die Bemerkungen von Helmholtz in Betreff der Lichtempfindungen,***) noch einer fortgesetzten Untersuchung.

Es kann sonach als bewiesen betrachtet werden, dass wir sowohl für den Umfang als für die Kraft der Muskelzusammenziehung eine sehr feine Unterschiedsempfindlichkeit besitzen, welche für die letztere nachgewiesenermassen dem psychophysischen Gesetze folgt, während für den ersteren das Gleiche in hohem Grad wahrscheinlich ist. Es erhebt sich nun die Frage: sind Umfang und Kraft der Zusammenziehung etwas von einander in der Empfindung durchaus verschiedenes, giebt es ein besonderes Gefühl des Contraktionsumfanges und ein besonderes Gefühl der Contraktionskraft, oder entspringen beide aus einer und derselben Empfindung, sind es vielleicht erst sekundäre Momente, die uns bestimmen Umfang und Kraft der Zusammenziehung von einander zu trennen?

Zunächst ist die Thatsache festzuhalten, dass wir im normalen Zustande unserer Bewegungsorgane niemals den Umfang und die Kraft der Muskelbewegung mit einander verwechseln.

*) Tastsinn und Gemeingefühl, S. 506.

**) Fechner, Elemente der Psychophysik, Bd. I, S. 182 u. f.

***) Helmholtz, Physiolog. Optik, S. 312 u. f.

Wir wissen sehr wohl, ob wir 10 Pfund 1 Zoll hoch oder 1 Pfund 10 Zoll hoch gehoben haben, wir setzen nie statt der grösseren Bewegung das grössere Gewicht, oder statt des grösseren Gewichtes die grössere Bewegung. Es möchte aber trotzdem nicht rathsam erscheinen, ohne weitere Gründe beide Empfindungen streng von einander zu trennen, da die Thatsache jener Unterscheidung immerhin nicht nothwendig eine anfängliche Differenz der Empfindungen voraussetzt, sondern eine solche Unterscheidung auch entstehen könnte z. B. durch ungleiche Betheiligung der Muskeln an der Bewegung oder durch eine verschieden grosse Zeit der Bewegung.

Prüft man die subjektive Empfindung selber, so lässt sich, wie mir scheint, eine sichere Entscheidung nicht geben, denn wenn man das eine Mal das kleinere Gewicht, das andere Mal das grössere Gewicht auf eine bestimmte Höhe hebt, so hat man allerdings eine Verschiedenheit der Empfindung, aber es bleibt sehr unentschieden, ob sich dabei die eigentliche Contraktionsempfindung verändert, ob es nicht vielmehr Empfindungen anderer Art sind, die sich beimischen und bei der Beurtheilung der Grösse des gehobenen Gewichtes den Ausschlag geben. Wenn ich durch völlig gleichmässige Hebung der Schulter das eine Mal den Arm unbelastet in die Höhe ziehe, das andere Mal während die Hand ein Gewicht von 100 Pfund oder mehr trägt, so vermag ich nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob das Gefühl der grössern Contraktionsenergie im letztern Fall wirklich in den Muskeln seinen Sitz hat, und nicht vielmehr in den Gelenken, an denen man die grössere Spannung der Bänder bei stärkeren Belastungen sehr deutlich empfindet. Man könnte nach solchen Hebungsversuchen mit starken Belastungen leicht geneigt werden, das Gefühl der Contraktionskraft ganz in die Gelenke zu verlegen, wie es in der That von Manchen geschehen ist. Aber es ist dabei wohl zu beachten, dass derartige Versuche mit grossen Gewichten, die auf die Gelenkbänder bedeutend ausdehnend einwirken, sehr wenig beweisen. Die Spannungsempfindung in den Gelenken, die sich sehr häufig zum Schmerz steigert, ist dann immer so stark, dass sie die eigentliche Muskelempfindung, deren Intensität weit schwächer ist, vollständig übertäubt. Wählt man aber kleine Gewichte, so kann man, dem Weber'schen Gesetze gemäss, den Unterschied der Contraktionskraft in verschiedenen Fällen viel genauer ermessen, und doch fühlt man hier von einer Spannung in den Gelenken gar nichts, sondern die ganze Contraktionsempfindung wird in die verkürzten Muskeln verlegt.

Mit weit grösserem Rechte könnte man gegen die Trennung einer Bewegungs- und Kraftempfindung an den Muskeln die oben in Bezug auf den Bewegungsmechanismus des Auges erwähnten Beobachtungen anführen, aus denen hervorgeht, dass am Auge eine grössere Contraktionsenergie sehr gewöhnlich verwechselt wird mit einer umfangreicheren Bewegung. Aber es erscheint doch nicht gerechtfertigt, aus einer an diesem besonderen Organe in der That vorkommenden Verwechslung von Kraft und Umfang der Bewegung einen verallgemeinernden Schluss zu ziehen. Es muss berücksichtigt werden, dass in Wirklichkeit beim Auge die aufgewandte Muskelarbeit sich im Wesentlichen n u r nach dem Umfang der Bewegung richtet, denn die bewegte Masse bleibt immer dieselbe, und auch die Bewegungswiderstände sind constant. Dieser Fall ist in vollkommener Strenge wohl nur am Auge realisirt, an den andern willkürlichen Bewegungsorganen variirt die aufgewandte Muskelarbeit nicht blos nach dem Umfang der Bewegung, sondern auch nach der bewegten Masse, und die letztere ist bedeutenden Verschiedenheiten unterworfen, je nachdem wir unsere Glieder unbelastet oder mit verschiedenen Gewichten in Bewegung setzen. Wenn nun beim Auge der Fall eintritt, dass zu einem bestimmten Bewegungsumfang eine grössere bewegende Kraft erforderlich ist als früher, so müsste, wenn Bewegungs- und Kraftempfindung von einander verschieden sind, eigentlich geurtheilt werden, dass das Auge nun eine schwerere Masse geworden sei als vorher, ja dass es nach einer Richtung bewegt eine grössere Masse sei als nach einer andern Richtung bewegt. Es lässt sich leicht denken, dass eine solche Vorstellung, die gegen alle unsere festgesetzten Wahrnehmungen verstösst, nicht leicht aufkommen kann, und dass dann viel eher die grössere Kraft mit dem grösseren Umfang der Bewegung verwechselt wird, wenn, was ohnedies nicht zu bezweifeln steht, Bewegungs- und Kraftempfindung mit einander eine gewisse Verwandtschaft haben und diese Verwandtschaft auch in der Art der Zunahme der Empfindung mit wachsender Reizgrösse sich ausspricht. Man kann vielleicht eine Bestätigung dieser Anschauung darin finden, dass in den erörterten pathologischen Fällen in der That die anfängliche Verwechslung später sich ausgleicht und einer richtigen Beurtheilung Platz macht, und dass auch die normaler Weise im Auge vorhandene Ungleichheit durch Uebung in der Schätzung von Distanzen bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden kann. Es spricht endlich hierfür die Beobachtung unvollständiger Lähmungen an andern Bewegungs-

organen, insbesondere an den Extremitäten. Hier wird, so weit meine Erfahrungen reichen, niemals die grössere Contraktionsenergie mit einer umfangreicheren Bewegung verwechselt. Der Umfang der Bewegungen wird meist richtig beurtheilt, aber es ist den Kranken, als wenn sie Blei an den Füssen trügen, oder als wenn sie grosse Gewichte mit den Armen heben müssten, d. h. es wird wirklich die grössere Anstrengung auf eine grössere bewegte Masse bezogen.

Es scheint mir somit vorerst, ehe etwa ein Zusammenhang bestimmter nachgewiesen ist, geboten zu sein, Kraftempfindung und Bewegungsempfindung an den Muskeln von einander zu scheiden. Es hat eine solche Scheidung in der That auch an sich keine Schwierigkeit. So gut wir im Bereich des Gefühlssinnes Tastempfindungen und Wärmeempfindungen von einander trennen müssen, ohne leugnen zu wollen, dass vielleicht noch ein tieferer Zusammenhang zwischen beiden vorhanden ist*), ebenso gut müssen wir diese Aufstellung zweier verschiedener Empfindungsqualitäten im Bereich des Bereich des Muskelsinns ausführen. Dass Kraftempfindung und Bewegungsempfindung in ähnlicher Weise verschiedene Empfindungsqualitäten sind, müssen wir eben daraus schliessen, dass wir unter gewöhnlichen Verhältnissen Energie und Umfang der Bewegung mit Sicherheit von einander trennen, ohne dass sich für dieses Urtheil ein anderer Anhaltspunkt nachweisen liesse als die Empfindung. Es mag sein, dass beide Empfindungen verwandter sind, eine grössere Aehnlichkeit mit einander besitzen als Tast- und Temperaturempfindungen, obgleich Fick nachgewiesen hat, dass auch im Gebiet der letzteren Verwechslungen verkommen, es ist aber noch wahrscheinlicher, dass wir beide Empfindungen nur deshalb nicht alsbald als verschiedene Empfindungsqualitäten auffassen, weil überhaupt die Muskelempfindungen an sich unserer genaueren Beobachtung zu entgehen pflegen, indem wir sie alsbald räumlich objektiviren, indem wir sie alsbald in die Form der Bewegung und der Wirkung nach Aussen in unserer Vorstellung umsetzen. Wir glauben eine unmittelbare Gewissheit davon zu besitzen, dass wir uns besser bewegen, wir meinen es unmittelbar zu

*) A. Fick schliesst auf diesen Zusammenhang aus dem Umstand, dass man Temperaturreize und leise Berührungsreize mit einander verwechseln kann. Er sagt: beim Temperatur- und Berührungsgefühl kommen nur die oberflächlich gelegenen Nervenfasern der Haut in Erregung, während bei der Druckempfindung auch die tieferen Nervenschichten betheiligt sind. (Moleschott's Untersuchungen zur Naturl. des Menschen, Bd. VII.)

wissen, dass wir einen äusseren Körper von bestimmter Masse in Bewegung setzen; in Wahrheit haben wir dabei nichts unmittelbar als Muskelempfindungen, alles Andere ist Schluss und Urtheil, das sich auf diese gründet, aber jene Empfindungen, ohne die wir nie zur Vorstellung eigener und fremder Bewegung zu gelangen vermöchten, entgehen unserer gewöhnlichen Beobachtung, weil diese nur immer das letzte Ziel im Auge führt und sich nichts um die Mittel kümmert, wenn auch ohne diese Mittel das Ziel nicht zu erreichen wäre.

Noch von einem anderen Gesichtspunkte aus lässt sich diese Trennung der Muskelempfindungen in Bewegungs- und Kraftempfindungen rechtfertigen, nämlich durch die Betrachtung der Analogie des Muskelsinns mit den objektiven Sinnen, und es wird uns dieser Gesichtspunkt in der allgemeinen Theorie der Wahrnehmungsprozesse noch förderlicher sein. Wir unterscheiden bei jedem objektiven Sinne eine zweifache Verschiedenheit des Eindrucks, die abhängt von der Verschiedenheit der ihn hervorrufenden äusseren Bewegung, und dem entsprechend eine zweifache Verschiedenheit in der Empfindung selber. Wir beobachten nämlich theils eine Verschiedenheit in der Art des äusseren Eindrucks, theils aber eine Verschiedenheit in seiner Stärke, der ersteren entspricht die verschiedene Qualität der Empfindung, der letzteren die verschiedene Intensität der Empfindung. So sind z. B. beim Gesichtssinn die Empfindungen des Violetten und Rothen, Gelben und Blauen qualitativ verschieden, und diese Verschiedenheiten rühren davon her, dass die Schwingungsdauer des Lichtäthers bei jeder einzelnen dieser Farbenempfindungen eine verschiedene ist. Aber ein und derselbe Farbenton des Violett oder Roth u. s. w. kann Empfindungen von sehr verschiedener Stärke hervorrufen, und dies rührt her von der mehr oder minder grossen Intensität der Aetherschwingungen. Dasselbe lässt sich in Bezug auf die anderen Sinne durchführen, so weit die denselben entsprechenden objektiven Bewegungen genauer untersucht sind. Auch bei dem Muskelsinn haben wir nur eine solche Verschiedenheit nach zwei Richtungen hin: unsere Muskelempfindungen sind nämlich erstens verschieden nach dem Grade der Zusammenziehung, dadurch entsteht eine qualitative Verschiedenheit der Muskelempfindungen, die der qualitativen Verschiedenheit der Farben und Töne entspricht; sie sind zweitens verschieden nach der Energie der Zusammenziehung, dadurch entsteht eine intensive Verschiedenheit der Muskelempfindungen, die der verschiedenen Intensität gleichartiger objektiver Sinneseindrücke parallel geht.

Ein wichtiger Unterschied des Muskelsinnes von den objektiven Sinnen besteht aber darin, dass bei ihm nicht blos die der verschiedenen Stärke des Eindrucks entsprechenden Empfindungen, sondern auch derjenigen Empfindungen, die der verschiedenen Qualität analog sind, unmittelbar in eine intensive Reihe sich ordnen. Den Umfang der Zusammenziehung vermögen wir ebenso genau und ebenso als unmittelbares Resultat unserer Wahrnehmung nach quantitativem Maass zu bestimmen, wie die Kraft der Zusammenziehung, wir bedürfen dazu weder einer besonderen Ausbildung des Sinnesorgans, noch gar einer wissenschaftlichen Reflexion, wie im Gebiet des Gesichts- und Gehörsinns. In diesem Punkte, welcher den wichtigsten Unterschied des subjektiven von den objektiven Sinnen ausmacht, ist zugleich die ganze Bedeutung desselben für die Wahrnehmungsprocesse begründet.

Zur genaueren Zergliederung dieser Prozesse wenden wir uns jetzt, nachdem wir in den bisherigen Untersuchungen die nothwendige Vorbereitung gewonnen haben. Diese Zergliederung wird in einen psychologischen und in einen logischen Theil zerfallen. Wir werden zuerst den Versuch machen, die Entstehung und Ausbildung der Sinneswahrnehmungen aus den gegebenen Thatsachen zu entwickeln, und wir werden sodann die logische Untersuchung und Zerlegung jener psychischen Prozesse vornehmen, durch welche die Sinneswahrnehmung sich aufbaut. —

3. Die Entstehung und Ausbildung der Sinneswahrnehmung.

Indem wir die Entstehung und Ausbildung der Sinneswahrnehmung zu ermitteln suchen, geschieht dies unserm Standpunkte gemäss in möglichstem Anschlusse an die Erfahrung. Ich sage, in *möglichstem* Anschlusse an die Erfahrung, weil ich leider nicht sagen kann, in *alleinigem* Anschlusse an die Erfahrung. Wir betreten ein Gebiet, das der naturwissenschaftlichen Beobachtung nur bis zu einer gewissen Grenze zugänglich ist, und beim ersten Schritt, den wir auf ein solches Gebiet setzen, erhebt sich die berechtigte Frage: dürfen wir es wagen, ohne die Thatsachen der Beobachtung durch Resultate müssiger Spekulation zu gefährden, auch die Dinge in die Untersuchung zu ziehen, die jenseits der Grenze gelegen sind? Wir stehen einer schlimmen Wahl gegenüber: unternehmen wir es, weiter sehen zu wollen als unsere Schritte

reichen, so geben wir uns der Gefahr preis, in den Augen Vieler Alles zu verlieren, weil wir mit Wenigem nicht zufrieden gewesen, beschränken wir uns aber auf den eng begrenzten Kreis der Beobachtungen, die uns unmittelbar in der Hand liegen, so verzichten wir damit auf das Beste, was wir durch unsere Untersuchung erreichen könnten, auf die Einheit, die hinter dem für sich zusammenhang- und bedeutungslosen Chaos von Thatsachen verborgen liegt und diese erst zu einem Ganzen verknüpft. — Dieser Alternative gegenüber giebt es einen Gesichtspunkt, der alsbald die Wahl zu entscheiden geeignet ist. In der That beschränkt sich keine Naturwissenschaft auf die Objekte ihrer unmittelbaren sinnlichen Beobachtung, sondern von diesen aus sucht sich die Wissenschaft zu dem zu erheben, was hinter den Erscheinungen gelegen ist und als ihr gemeinsamer Grund betrachtet werden kann; ist so die nothwendige Einheit gewonnen, so wird auch dasjenige mit in die Untersuchung gezogen, was nur sehr bruchstückweise oder zum Theil gar nicht der eigentlichen Beobachtung zugänglich ist. Es ist mit andern Worten der Analogieschluss, dem das vollendende Geschäft in jeder Naturwissenschaft zusteht: mit seiner Hülfe bildet sich der Geologe aus einigen Versteinerungen ein Bild von der Beschaffenheit ganzer Weltepochen, mit seiner Hülfe konstruirt der vergleichende Anatom aus einem einzigen Knochen einen ganzen Thierorganismus. Der Analogieschluss ist die einzige Metaphysik, die berechtigt ist, und die tief mitten in die Erfahrungswissenschaften hineinreicht, ohne die uns Alles verschlossen wäre, was uns nicht unmittelbar sinnlich gewiss ist. So wenig die Wissenschaften von der materiellen Natur dieser Hülfe entbehren können, so wenig kann dies die Psychologie. Nachdem wir im Vorangegangenen für eine grössere Zahl von Fällen die Regeln gefunden haben, nach welchen die Seele bei der Bildung der Wahrnehmungen verfährt, übertragen wir demgemäss diese Regeln auf jene unbekannten Fälle, in welchen die Entstehung der Wahrnehmung unserer Beobachtung entrückt ist, und wir nehmen an, dass in diesen unbekannten Fällen die Wahrnehmung nach der allgemeinen Analogie der Wahrnehmungsprozesse entstanden sei. Muss diese Annahme als berechtigt zugestanden werden, so wird auch das folgende Bild der Entwickelung der Sinneswahrnehmungen im Wesentlichen das richtige sein.

Derjenige Akt, der allen Wahrnehmungsprozessen vorangeht, ist die durch den äusseren Sinneseindruck hervorgerufene Empfindung. Die Empfindung kommt zu Stande, indem

die äussere Bewegung, die den Sinneseindruck ausmacht, durch empfindende Nervenfasern zu centralen Ganglienzellen sich fortpflanzt. Der äussere Eindruck besteht in einem physischen Bewegungsprozess, in welchen die peripherischen Endapparate der Sinnesorgane versetzt werden, ebenso ist die Leitung des Eindrucks in der Nervenfaser ein physischer Bewegungsprocess, und endlich ist es ohne Zweifel wieder ein physischer Bewegungsprozess, der in der Nervenzelle selber die Empfindung erregt. Die Empfindung aber, dieser erste psychische Akt, in welchen der fortgepflanzte Bewegungsprozess sich umsetzt, ist etwas vollkommen Neues, das aus den vorangegangenen Bewegungserscheinungen sich vorerst nicht ableiten lässt. Diese Ableitung wird die Aufgabe einer künftigen Theorie der Empfindung sein, hier im Gebiete der Wahrnehmung haben wir uns mit derselben nicht zu befassen, hier haben wir lediglich die Empfindung als das weiter nicht zu zerlegende Element zu betrachten, welches der Wahrnehmung vorausgeht und sie bedingt. Wir können uns hier damit begnügen in Bezug auf die Empfindung zwei Thatsachen festzuhalten, welche als unzweifelhafte Ergebnisse der Beobachtung betrachtet werden müssen.

Erstens sehen wir durchweg, dass dem differenten objektiven Eindruck auch eine differente Empfindung entspricht, und zwar gilt dies sowohl innerhalb verschiedener Sinnesgebiete als auch für die verschiedenen Empfindungen eines und desselben Sinnes. Schall- und Lichtschwingungen unterscheiden sich, ebenso unterscheiden sich Tonempfindung und Lichtempfindung, und der Mannigfaltigkeit, die innerhalb jeder einzelnen dieser Bewegungsformen noch vorhanden ist, entspricht die Mannigfaltigkeit der Ton- und Farbenempfindungen. Wir sehen einen vollständigen Parallelismus gegeben zwischen dem objektiven Eindruck und der Empfindung, ohne dass dieser Parallelismus seiner nähern Ursache nach uns bekannt wäre. Die Empfindung ist nicht identisch mit dem physischen Vorgange, der in der Nervenzelle durch den äusseren Eindruck hervorgerufen wird, aber sie verändert sich, sobald sich dieser ändert, in durchaus gesetzmässiger Weise. In diesem Parallelismus unserer Empfindungen mit dem äusseren Geschehen ist aber erst die Möglichkeit einer Wahrnehmung überhaupt gegeben.

Zweitens sehen wir einen festen Reflexzusammenhang bestehen zwischen bestimmten Empfindungsgebieten und bestimmten Bewegungsgebieten unseres Körpers, einen Reflexzusammenhang, der ursprünglich vollkommen ausser dem Ein-

flusse unseres Willens steht, wohl aber durch diesen später abgeändert oder auch gelöst werden kann. Enthauptete Thiere pflegen daher diesen Reflexzusammenhang noch in seiner vollen Ursprünglichkeit zu zeigen, in der er augenscheinlich einer unabänderlichen Gesetzmässigkeit unterworfen ist. Die Bewegung, die reflektorisch einem Empfindungsreiz nachfolgt, ist zunächst abhängig von dem Ort der Reizung, sie ist aber ausserdem auch abhängig von der Intensität der Reizung. Bei mässigen Reizen, bei denen gerade erst eine reflektorische Bewegung eintritt, bleibt diese auf eine ganz bestimmte Muskelgruppe beschränkt, die mit der gereizten Stelle in den nächsten Reflexzusammenhang gesetzt ist. Bei Steigerung des Reizes verbreitet sich aber allmälig die Bewegung, bis endlich bei den heftigsten Reizen die Bewegung fast zu einer allgemeinen wird. Es ist somit eine und dieselbe empfindende Stelle reflektorisch verknüpft mit einer Unzahl von Bewegungsheerden, aber diese Verknüpfung ist eine verschieden innige: in nächstem Zusammenhange steht jede empfindende Stelle immer nur mit *einem* engbegrenzten Bewegungsheerd, an diesen erst schliessen sich in immer weiteren Kreisen Bewegungsheerde von entfernterem Zusammenhange. Für den normalen Ablauf der Empfindungen ist nun offenbar jener Bewegungsheerd von nächstem Zusammenhang, welcher der empfindenden Stelle unmittelbar zugeordnet ist, allein von Bedeutung, denn über ihn hinaus verbreitet sich die Reflexbewegung im Allgemeinen nur bei einer Stärke der Reize, bei welcher die Empfindungen nicht mehr zur Bildung objektiver Wahrnehmungen verwandt werden. So werden bei dem normalen Ablauf der Sinneseindrücke fortwährend Bewegungen angeregt, deren Beschaffenheit gesetzmässiger Weise von den Sinneseindrücken abhängig ist. Man hat häufig diese reflektorischen Bewegungen als *zweckmässige* Bewegungen bezeichnet, und es ist diese Bezeichnung charakteristisch, insofern sie andeutet, welchen unmittelbaren Eindruck die betreffenden Bewegungen auf uns machen. Aber es würde sehr verkehrt sein, wenn wir aus diesem Eindrucke nur schliessen wollten, dass die Bewegung selber ein bewusstes Handeln nach Zwecken einschliesse. Wir sind gerade bei den Reflexbewegungen hierzu sehr geneigt, weil wir dieselben an Theilen und Organen vor sich gehen sehen, die wir selbst mit Willkür und zu bestimmten Zwecken zu bewegen pflegen. An sich müssen aber deshalb diese Bewegungen ebenso wenig aus einem bewussten Handeln herfliessen, als etwa die Bewegungen der Eingeweide oder gar die Bewegungen der Himmelskörper, die man beide mit

demselben Rechte zweckmässig nennen kann, wie die Reflexbewegung. Wir verwechseln bei der Betrachtung der Naturerscheinungen immer und immer wieder unsern eigenen Standpunkt mit dem Wesen der Dinge. Weil unser reflektirender Verstand die Gesetzmässigkeit in dem Laufe der Naturerscheinungen in den meisten Fällen zweckmässig findet, so sind wir geneigt, in den Erscheinungen selber ein Handeln nach Zwecken zu sehen, ohne zu bedenken, dass ein Zweck in dem von uns gebrauchten Sinne auch nur für unser eigenes beschränktes Denken besteht.

Der Mechanismus der Uebertragung von Empfindungseindrücken in Bewegungsimpulse, den wir Reflexbewegung nennen, ist für die Entstehung der Wahrnehmungen und für die Geschichte des Seelenlebens überhaupt von der höchsten Wichtigkeit. Hier stehen wir auf jenem Punkte, wo Physisches und Psychisches ohne Grenze in einander gehen. Der Reflexmechanismus kommt zu Stande lediglich durch einen physischen Zusammenhang gesetzmässig angeordneter Nervengebilde, und der Reflexmechanismus bildet das erste Glied in der ganzen Kette jener Lebensäusserungen des Individuums, die wir als seelische Aeusserungen auffassen. Eine eingehende Zergliederung des Seelenlebens zeigt, dass alle psychischen Handlungen bis hinauf zu den freien Aeusserungen des selbstbewussten Willens sich im Laufe der Entwickelung des Seelenlebens hervorbilden aus dem physischen Mechanismus der Reflexe. Aus der Reflexbewegung bildet sich hervor die sinnliche Wahrnehmung, in der sinnlichen Wahrnehmung wurzelt das Gebiet der Vorstellungen, und auf einer zahllosen Reihe von Vorstellungen ruht die Welt der abstrakten Begriffe. Die unabänderliche Gesetzmässigkeit in dem physischen Zusammenhange der Nervengebilde ist die Ursache gesetzmässiger Reflexbewegungen, in der Gesetzmässigkeit der Reflexbewegungen liegt aber die Sicherheit unserer Wahrnehmungen und Vorstellungen begründet, und auf der Sicherheit unseres Vorstellungslebens erhebt sich die Sicherheit unseres Denkens.

Für die Wahrnehmung wird der erörterte Reflexmechanismus dadurch von so grosser Bedeutung, dass durch ihn die Empfindungen der objektiven Sinnesorgane nicht isolirt bleiben, sondern sich stets mit bestimmten subjektiven Empfindungen des Muskelsinns kombiniren. Auf dem hiermit gegebenen Parallelismus zweier Empfindungsreihen beruht die ganze Entstehung der Sinneswahrnehmung und beruht insbesondere die Ausbildung der räumlichen Wahrnehmung. Ohne diesen Parallelismus würden die Empfindungen stets successive Verände-

rungen unseres subjektiven Zustandes bleiben, ohne ihn würden wir niemals dazu gelangen, die Empfindungen zu ordnen und zu Wahrnehmungen zu verknüpfen. —

Die ersten Wahrnehmungsakte liegen begründet in der Thätigkeit des Muskelsinnes. Indem wir unsere Glieder bewegen, treffen wir auf äussere Widerstände. Wir bemerken, dass diese Widerstände zuweilen vor unserer andringenden Bewegung zurückweichen, aber wir erfahren zugleich, dass dies mit sehr verschiedener Leichtigkeit geschieht, wir müssen, um verschiedene Körper in Bewegung zu setzen, eine sehr verschiedene Muskelkraft aufwenden, jedem einzelnen Grad der Kontraktionskraft entspricht aber ein bestimmter Grad in der Intensität der Muskelempfindung. In diese Muskelempfindungen mengen sich fortwährend ein die Empfindungen der Haut, die unsere tastenden Glieder überzieht, und zwar so, dass die Intensität dieser Tastempfindungen der Intensität der begleitenden Muskelempfindungen parallel geht.

Wir gelangen auf diese Art dazu, die Intensitätsgrade der Muskelempfindungen in nothwendiger Weise mit der Beschaffenheit der Widerstände zu verknüpfen, die sich unserer Bewegung entgegensetzen. Wir ordnen diese Widerstände, die wir, wenn die Vorstellung sich durch Mitwirkung anderer Sinne weiter ausgebildet hat, äussere Körper nennen, nach ihrer Masse, d. h. nach dem Grad ihres Widerstrebens, in eine quantitative Reihe und unterscheiden eine entsprechende Stufenfolge unserer Muskelempfindungen. Wo diese nun im späteren Verlauf des Seelenlebens für sich auftreten, da beziehen wir sie alsbald auf einen Bewegungswiderstand von grösserer oder geringerer Stärke. — In dieser Beziehung der Intensitätsgrade unseres Muskelgefühls ist der erste Wahrnehmungakt gelegen: wir nehmen durch unsere Muskelempfindungen subjektiv wahr die Widerstände, die sich unsern Bewegungen entgegensetzen, und wir gelangen dadurch zur objektiven Wahrnehmung der Massebeschaffenheit der Naturkörper; wir fassen dabei aber diese vorerst noch nicht einmal als äussere Körper auf, wir sind noch fern von jeder räumlichen Vorstellung, wir haben uns die einzige Wahrnehmung der Masse oder des Widerstandes gebildet, und diese besitzen wir losgelöst von jeder weiteren Vorstellung und Abstraktion, die wir später hinzuthun, und die wir allerdings uns dann schwer hinwegzudenken vermögen.

Treffen wir mit unsern Bewegungsorganen auf äussere Körper, so unterscheiden wir durch das Zusammenwirken unserer Tast- und Muskelempfindungen alsbald, ob dieselben als Ganze sich

unserer Bewegung entgegensetzen und unter Umständen als Ganze unserer Bewegungskraft nachgeben, die festen Körper, oder ob sie unserer Bewegung nachgeben, indem sie ihre eigene Form ändern, wie bei der fest-weichen und flüssigen Beschaffenheit. Wir erhalten so durch unsere Empfindungen Aufschluss über die physische Constitution und den Aggregatzustand der Körper. Nur indem sich die Körper als Ganze unserer Bewegung entgegensetzen, gelangen wir zu der Wahrnehmung ihrer Masse. Später, wenn unsere anderen Sinnenthätigkeiten erwacht sind, vergleichen wir dann diese von den Körpern durch unsern Muskelsinn erhaltene einfache Wahrnehmung mit ihren übrigen sinnlichen Eigenschaften, namentlich mit ihrer Ausdehnung, wir sehen, dass unter fast gleichen Bedingungen die Körper um so grössere Widerstände unserer Bewegung entgegensetzen, dass die Empfindungen unserer kontrahirten Muskeln um so intensiver werden, je ausgedehnter die Körper sind u. s. w. Auf diesem Wege gelangen wir zu den einfachen Vorstellungen, welche die Grundlage unserer mechanischen Axiome bilden. Von welcher Wichtigkeit die Muskelempfindungen für die Ausbildung unserer primitiven mechanischen Vorstellungen sind, zeigt auf schlagende Weise die Geschichte der Wissenschaften. Auf dem frühesten Standpunkte des mechanischen Wissens werden alle Naturerscheinungen abgeleitet aus dem unmittelbaren Eingreifen ausserhalb der Dinge stehender Mächte, die man sich menschlich versinnlicht, alle wirkenden Kräfte werden unter dem Bilde menschlicher Muskelkraft vorgestellt. Es ist bekannt genug, dass diese Vorstellungweise in den Mythologien des Alterthums liegt, in welchen Theologie und Naturkunde noch ungetrennt sind, und in welchen die bewegende Kraft menschlicher Götter alles Geschehen veranlasst. Aber es wird weniger beachtet, dass jene Vorstellungsweise noch tief in die Zeiten einer exakteren Naturbetrachtung, ja in unser eigenes Denken hineinreicht. Noch zu Kepler's Zeiten dachte man sich die Bewegung der Planeten um die Sonne durch unsichtbare Arme bewirkt, die von allen Seiten des Sonnenkörpers nach den Planeten hin ausstrahlten. Cartesius verwarf jene Vorstellung, aber nur, um an die Stelle der unsichtbaren Arme unsichtbare Wirbel zu setzen, die nach seiner Annahme die Bewegung mechanisch fortpflanzen sollten; in der That hatte er damit nur den unsichtbaren Armen eine neue Form gegeben und sie vervielfältigt. Wir sind jetzt weit über jenen Standpunkt hinaus, und doch, wenn wir es uns selbst gestehen, können wir uns von keiner einzigen Kraft eine deut-

liche Vorstellung bilden als von unserer eigenen Muskelkraft. Wollen wir uns eine Vorstellung davon machen, wie die Sonne durch unendliche Entfernungen blos durch ihre Masse Kräfte auszuüben vermag, so müssen wir unbewusst wieder zu den unsichtbaren Armen der Alten zurückkehren. Ohne unsere Muskelkraft würden wir nicht im Stande gewesen sein zum Begriff der Kraft überhaupt zu gelangen, und wo wir versuchen diesen Begriff in die concrete Vorstellung zu übersetzen, da kehren wir zu dieser Muskelkraft, von der wir ausgingen, wieder zurück: unsere Muskelempfindungen sind der Ursprung der Kraftvorstellung, und sie bleiben fortwährend das einzige direkte Maass, nach welchem wir äussere Kräfte zu messen vermögen.

In der Wahrnehmung der Intensität unserer Bewegung und ihrer Beziehung auf die Intensität eines Widerstandes liegt der erste Verknüpfungspunkt unserer rein qualitativen Seelenzustände mit den quantitativen Verhältnissen der Aussenwelt, wenn auch in diesen ursprünglichen Beziehungen die Scheidung einer Aussenwelt von dem Subjekte noch lange nicht gegeben ist. Die Wahrnehmungen unseres Muskelsinns werden nämlich auf die Erfahrungen, die uns durch unsere übrigen Sinne zufliessen, übertragen. Wie wir unsere Muskelempfindungen in eine intensive Reihe geordnet haben, so ordnen wir nun auch die Empfindungen unserer anderen Sinne. Wie wir die heftigere Muskelempfindung von der schwächeren dem Grade nach unterscheiden, so unterscheiden wir überhaupt gradweise Abstufungen aller Sinneserregungen. Wir beginnen so zu unterscheiden die Grade der Licht- und Farbenempfindung, die Intensitäten des Tons und des Schalls, die Grade des Drucks, der auf unsere Haut wirkt, und die Intensitäten der Geruchs- und der Geschmacksempfindungen: alles dies sind Unterscheidungen analog denen, die wir gelernt haben im Bereich unseres Muskelsinnes zu machen, und die wir nun auf alle unsere objektiven Sinne übertragen. Diese Einordnung sämmtlicher Empfindungen in eine quantitative Reihe nach ihrer Intensität ist wieder im Bereich der objektiven Sinne der erste Akt der Wahrnehmung, an den sich alle weiteren Wahrnehmungsakte anschliessen.

Zunächst wird im Bereich des Muskelsinns selber aus der Wahrnehmung der Contraktions*kraft* die Wahrnehmung des Contraktions*umfanges* gebildet. Die Grade des Bewegungsumfanges, die ursprünglich als rein qualitative Unterschiede aufgefasst wurden, werden in eine quantitative Reihe geordnet, indem die hier vorhandenen Unterschiede in eine ähnliche

Abstufung gebracht werden wie die Unterschiede der Contraktionsenergie. Damit sind die Grade des Bewegungsumfanges als solche noch nicht wahrgenommen, denn es liegt in dieser ursprünglichen Abstufung noch nichts von einer räumlichen Anschauung. Aber die räumliche Anschauung bildet sich während und mit jener Abstufung aus, indem die Thätigkeit der objectiven räumlichen Sinne, namentlich des Tastsinnes, fortwährend in die Wahrnehmung hereingreift. Sobald sich durch diese combinirte Thätigkeit die erste räumliche Anschauung gebildet hat, werden dann alsbald auch jene intensiven Unterschiede des Grades der Zusammenziehung als räumliche Unterschiede des Bewegungsumfanges wahrgenommen.

Von unsern objektiven Sinnen bleiben Geruchs- und Geschmackssinn fortwährend auf jener Stufe der Ausbildung stehen, auf der sie ihre Empfindungen nur der Intensität nach zu ordnen vermögen. Wir können mit diesen Sinnen die Grade eines bestimmten Geruchs und Geschmacks quantitativ unterscheiden, aber die verschiedenen Geruchs- und Geschmacksperceptionen haben keinen Verknüpfungspunkt unter sich, der bittere, sauere, süsse Geschmack z. B. stehen unvermittelt neben einander, sie lassen nicht in eine einheitliche Reihe sich ordnen. Die Qualitäten der Empfindung bleiben hier auf ihrer ursprünglichen Stufe rein qualitativer Empfindungen fortwährend stehen.

Auf einer weit vollkommneren Stufe der Ausbildung befindet sich der Gehörssinn. Er unterscheidet nicht blos die Intensitäten des Tons und des Schalls ihrem Grade nach, sondern er vermag zugleich die qualitativen Verschiedenheiten der Tonempfindung zurückzuführen auf eine quantitative Reihe. Aehnlich wie wir durch unsern Muskelsinn nicht blos unterscheiden die Energie der Zusammenziehung, sondern auch die Grade des Contraktionsumfanges, die ursprünglich als rein qualitative Verschiedenheiten sich darstellen, ähnlich unterscheiden wir durch den Gehörssinn neben den Intensitäten des Schalls auch dessen qualitative Verschiedenheiten in einer quantitativen Abstufung als Tonreihe. Der Grund für diese Ausbildung des Gehörssinns liegt offenbar begründet in der weit feineren Organisation unseres Gehörorgans. Wir sehen in diesem Einrichtungen gegeben, durch welche wir, innerhalb der uns zugänglichen Grenzen der Tonreihe, äusserst feine Abstufungen in der Verschiedenheit der Töne aufzufassen vermögen. Dadurch werden wir dahin geführt, die ganze Tonwelt in eine einzige continuirliche Reihe zu ordnen. Was wir mit allen Hülfsmitteln nicht vermöchten, wenn die

von uns unterscheidbaren Töne je um mehrere Oktaven von einander entfernt lägen, das ergiebt sich uns ganz von selbst bei der umfangreichen und feinen Unterscheidung, deren wir in Wirklichkeit fähig sind. So kommt es, dass, während unsere Geruchs- und Geschmacksperceptionen unvermittelt neben einander stehen, unsere Gehörsempfindungen alsbald in die quantitative Reihe geordnet werden, die uns geläufig ist. Wir vervollkommnen die Uebung unseres Ohrs in dieser Einrichtung aber erst und vorzüglich dadurch, dass wir gleichzeitig eine Mehrheit von Tönen aufzufassen im Stande sind. Hierdurch wird alsbald eine Verschiedenheit von einer Gleichheit der Empfindungen getrennt, hierdurch wird uns ferner unmittelbar in dem harmonischen oder disharmonischen Zusammenklingen der Einzeltöne der Anhaltspunkt gegeben zu jener ausgebildeteren Einreihung der Tonwelt, wie sie systematisch in der Musik geschieht. Die Bezeichnungen, welche die Musik für diese quantitativen Verhältnisse gewählt hat, sind künstliche, aber die Verhältnisse selber sind in der Natur gelegen, sie fliessen unmittelbar aus der Form jener Bewegungen, aus welchen die objektiven Töne bestehen, und welche vermöge des überall durchgeführten Parallelismus zwischen den Empfindungen und ihren objektiven Erregungen in unseren Empfindungen sich spiegeln. Aus diesen, aus den Empfindungen, hat die Musik ihr quantitatives System zunächst aufgebaut, und viel später haben erst die physikalischen Wissenschaften bestätigt, dass der subjektiven Gesetzmässigkeit objektive Gesetze zu Grunde liegen. Indem wir einzelne Töne als höher, andere als tiefer unterscheiden, wissen wir damit noch durchaus nicht, ob diese oder jene es sind, welchen die grössere Schwingungsgeschwindigkeit der Schallwellen entspricht, ja wir beziehen anfänglich überhaupt nicht den Ton auf eine objektive Bewegung. Aber gerade beim Gehörssinn liegt selbst die genauere physikalische Beziehung sehr nahe, und sie ist deshalb auch bei ihm am frühesten eingetreten, theils weil wir bei den tiefsten Tönen noch die Einzelschwingungen durch unser Gehör selbst unterscheiden können, theils weil wir die Schwingungen tönender Körper, z. B. der Saiten, häufig unmittelbar mit unsern Augen zu verfolgen Gelegenheit haben.

Die Tastempfindungen der Haut und die Lichtempfindungen des Auges stehen in Bezug auf ihre Qualität grösstentheils unvermittelt neben einander. Namentlich gilt dies für den Tastsinn: offenbar giebt es auch verschiedene Qualitäten der Druckempfindung, unsere Empfindung ist eine andere bei der Berührung eines spitzen Körpers als bei der Berührung eines

stumpfen, anders bei der Berührung eines glatten als eines rauhen. Aber die Verschiedenheit des äusseren Eindrucks ist hier eine so rohe, dass wir sie unmittelbar auf die räumliche Anordnung der Theilchen der äusseren Körper beziehen, dass sie uns nicht eine Qualität der Empfindung bleibt, sondern alsbald auf die räumliche Verschiedenheit der berührten Oberfläche bezogen wird. Diese Verschiedenheit selber zeigt aber in sich keine gesetzmässige Abstufung, wir vermögen daher auch nicht eine Abstufung in den Qualitäten unserer Druckempfindung zu machen. Dagegen besitzt unsere Haut eine äusserst feine Unterscheidung für die I n t e n s i t ä t der Druckempfindung, so dass wir sehr geringe Druckunterschiede von einander zu trennen vermögen. Diese Einreihung der Tastempfindungen in eine intensive Reihe wird wesentlich dadurch befördert, dass wir unsere Haut betastend einen Druck von verschiedener Stärke auf sie ausüben. Dadurch werden wir unmittelbar genöthigt, die intensiven Grade der Muskelempfindungen unserer tastenden Glieder mit den intensiven Graden unserer Tastempfindungen zu vergleichen, und hierin liegt höchst wahrscheinlich der erste Ursprung einer Uebertragung der Erfahrungen unseres subjektiven Sinnes auf die objektiven Sinne überhaupt.

Der Gesichtssinn giebt uns eine unendlich reichere Welt qualitativer Empfindungen als der Tastsinn, aber auch bei ihm wird es uns in einem sehr beschränkten Grade nur möglich, die Qualitäten der Empfindung in eine quantitative Reihe zu ordnen, die den quantitativen Verhältnissen des objektiven Eindrucks parallel geht. Doch die Gründe, aus denen beim Auge eine ähnliche Ausbildung des Sinnes wie beim Gehör nicht möglich ist, sind wieder andere als bei den bisher betrachteten Sinnen. Während wir bei diesen den letzten Grund finden mussten in der mangelhaften Ausbildung der Sinnesorgane, die uns z. B. bei Geruch und Geschmack die feineren Uebergänge der Empfindung gänzlich verschliesst, sehen wir das Auge so ausgebildet, dass es innerhalb der seiner Auffassung zugänglichen Reihe des Spektrums die feinsten Uebergänge wahrzunehmen fähig ist. Aber während wir beim Gehörssinn eine vollständige Trennung aller gleichzeitig stattfindenden Einzelempfindungen in der Wahrnehmung auffanden, sehen wir beim Gesichtssinn ein totales Verschmelzen einer grossen Masse von Einzeleindrücken. Das weisse Licht und fast alle Farbentöne, die wir in der Natur beobachten, bestehen nicht aus den einfachen Qualitäten der Lichtempfindung, aus den Farbenabstufungen des Spektrums, sondern sie

sind meistens aus einer Menge von Spektralfarben zusammengesetzt, und unser Auge vermag das zusammengesetzte Licht nicht aufzulösen, weil die verschiedensten Formen der Bewegung des Lichtäthers, sobald sie auf ein und dasselbe Netzhautelement treffen, dasselbe in eine resultirende zusammengesetzte Bewegung bringen, die in eine untrennbare Empfindung sich umsetzt. Dieser Nachtheil unseres Gesichtssinnes hängt aber wieder mit den Vorzügen desselben auf das innigste zusammen: nur auf diese Weise liess sich nämlich die Auffassung räumlicher Bilder verwirklichen, ausserdem aber wurde ihm gerade durch das Verschmelzen einfacher Farben eine unendliche Feinheit in dem rein Qualitativen der Empfindung gegeben. Würden wir immer die einfachen Farben des Spektrums aufzufassen genöthigt sein, so würden wir uns fortwährend in einem zwar prächtigen aber höchst einförmigen Farbenmeer bewegen, das hinter seiner Einförmigkeit alle feineren Verschiedenheiten der Gegenstände versteckte. Wir werden deshalb auch bei der höchsten Ausbildung niemals dazu gelangen, die Farbenwelt in gleichem Reichthum gesetzmässiger und quantitativ bestimmbarer Abstufung aufzufassen wie die Welt der Töne, aber was uns hievon im Bereich des Gesichtssinnes verloren geht, das wird uns reichlich durch den gerade hierin begründeten qualitativen Reichthum dieses Sinnes ersetzt, der denselben erst zu der wichtigen Rolle geschickt macht, die er im Process unserer äusseren Erkenntniss spielt, zu der Rolle des feinsten Unterscheidungsorganes der Verschiedenheiten der Körperwelt, das wir besitzen.

Indess wir so in Betreff der verschiedenen Arten der Lichtempfindung stets an das Qualitative gebunden bleiben, wird es uns dagegen innerhalb jeder einzelnen Art möglich, die Intensitäten derselben in gradweiser Abstufung scharf von einander zu trennen. Wir unterscheiden am Licht überhaupt seine verschiedenen Helligkeitsgrade, und wir unterscheiden an jeder einzelnen Farbe ihre matteren und grelleren Töne. Wir vermögen selbst bis zu einem gewissen Grad die Intensitäten verschiedener Farben mit einander zu vergleichen, doch geschieht dies schon weit unvollkommner: wir sind dabei stets geneigt die helleren Farbentöne für die intensiveren zu halten, und unsere Empfindung ändert sich in dieser Hinsicht sogar mit den Tageszeiten, wie z. B. bei der Vergleichung von Roth und Blau, wo bei starker Beleuchtung Roth überwiegt, während bei einbrechender Dunkelheit Blau überwiegend wird.

Wir sehen in Bezug auf die bisher betrachteten Wahrnehmungsfähigkeiten der Sinne den Sinn des Gehörs bei weitem oben anstehen: er ist der einzige, der nicht blos die Intensitäten seiner Empfindung in eine Reihe ordnet, sondern der auch die qualitativen Verschiedenheiten seiner Empfindung quantitativ abstuft. Aber während Gehör, Geruch und Geschmack hierbei stehen bleiben, erheben sich Tast- und Gesichtssinn im Verein mit dem Muskelsinn noch zu einer weiteren wichtigen Wahrnehmungsfunktion, durch welche eine objektive Erkenntniss wesentlich erst begründet wird, sie entwickeln in sich die Fähigkeit der räumlichen Wahrnehmung.

Die Hauptmomente bei der Entstehung der räumlichen Wahrnehmung sind in Bezug auf den Tastsinn in der ersten Abhandlung, in Bezug auf den Gesichtssinn in der dritten und vierten Abhandlung abgeleitet worden. Beide Ableitungen stimmen in den wesentlichen Punkten mit einander überein. Immer baut die räumliche Wahrnehmung aus zwei correspondirenden Empfindungsreihen sich auf, aus den eigenthümlichen Empfindungen des Tast- oder Gesichtssinns und aus den Muskelgefühlen; der Verknüpfungspunkt aber für diese Empfindungsreihen liegt in der Reflexbewegung. Hinsichtlich der näheren Durchführung dieses Satzes müssen wir auf das früher ausführlich Dargelegte verweisen, da die Ableitung der räumlichen Wahrnehmung den Ausgangspunkt und das Hauptziel unserer Untersuchungen gebildet hat; wir haben aber die räumliche Wahrnehmung aus dem Grunde zum hauptsächlichsten Untersuchungsobjekt genommen, weil bei ihr allein die Theorie sich auf genügende Weise thatsächlich begründen liess, während uns die Ableitung der früheren Wahrnehmungsakte, mit denen sich der vorliegende Abschnitt beschäftigt hat, nur durch ein Rückwärtsschliessen aus den in Bezug auf die räumliche Wahrnehmung erkannten Thatsachen möglich geworden ist.

Bevor ich diesen Abriss der Entwicklungsgeschichte der Wahrnehmung schliesse, muss ich auf einen Mangel der Darstellung aufmerksam machen, der sich nicht umgehen liess, der aber sehr geeignet ist, den ganzen Wahrnehmungsprocess viel verwickelter und schwieriger erscheinen zu lassen, als er in Wirklichkeit sein mag. Ich bin genöthigt gewesen, diese ganze Entwicklung als eine fortwährende Aufeinanderfolge von Vorgängen darzustellen, bei der immer nur Eines an das Andere sich anreiht, während doch in Wirklichkeit eine Menge von Vorgängen gleichzeitig geschieht und erst

durch die Gleichzeitigkeit überhaupt eine Entwickelung möglich macht. Wir befinden uns hier in einer ähnlichen Lage wie in der körperlichen Entwicklungsgeschichte. Die Embryologie greift ein System und Organ nach dem andern heraus und beschreibt die Metamorphosen, die es durchmacht, während doch alle Metamorphosen im Einzelnen nur aus der Metamorphose des Ganzen heraus sich begreifen lassen, diese aber lässt sich nie mit einem Blick überschauen, die Darstellung liefert daher immer nur Bruchstücke, die man sich nachträglich zu einem Ganzen zusammendenken muss. Dieser Uebelstand tritt bei der Entwickelungsgeschichte des Seelenlebens noch weit mehr zu Tage, weil man es hier mit einem der sinnlichen Beobachtung nicht unmittelbar zugänglichen Untersuchungsobjekte zu thun hat, und daher die Darstellung leicht für die Sache selber genommen wird. Es würde sehr unrichtig sein, wenn wir uns die Wahrnehmung aus einer reinen Succession von Empfindungsimpulsen wollten entstanden denken, wenn wir annehmen wollten, zuerst bildeten sich die Wahrnehmungen des Muskelsinns, dann in bestimmter Reihenfolge die Wahrnehmungen der objektiven Sinne. Mit den ersten Muskelempfindungen finden gleichzeitig Tast-, Gesichts- und andere Empfindungen sich vor und werden gleichzeitig von der Seele verarbeitet. Während die Intensitätsgrade der Eindrücke noch geordnet werden, bilden sich schon die ersten unvollkommenen räumlichen Anschauungen, und indem so immer eine Vielheit von Wahrnehmungsakten innerhalb der verschiedensten Sinnesgebiete in einander eingreift, unterstützt das Eine das Andere. Nur diese Gleichzeitigkeit, dieses rasche Ineinandergreifen mannigfacher Wahrnehmungsakte macht überhaupt die höheren Stufen der Wahrnehmung möglich. Trotz der raschen Folge unendlich vieler und mannigfacher Impulse, welche die sich entwickelnde Seele von ihren Sinnen empfängt, ist in jener Gleichzeitigkeit der Wahrnehmungsakte kein Anlass zu Verwirrung und Verwechslung gegeben, sondern es liegt in ihr vielmehr der Grund zu schärferer Scheidung und Auffassung. Die zwei Grundthatsachen, die wir an die Spitze dieser Betrachtungen gestellt haben, sind es, die hier ihre volle Bedeutung gewinnen: erstens der Parallelismus der Empfindungen mit den objektiven Eindrücken, die sie erregen, und zweitens der gesetzmässige Zusammenhang der objektiven Sinneseindrücke mit Reflexbewegungen und durch sie mit Muskelempfindungen. Beide Momente greifen lichtend in das Chaos der Empfindungen ein und stellen die bleibende Ordnung um so rascher und vollkommener her, je stärker

und rascher der Zufluss mannigfacher Eindrücke ist. Nur das Eine, ohne das die ordnende Thätigkeit jener Momente allerdings nicht zu denken wäre, bleibt erhalten, mag der Zufluss der Eindrücke noch so bedeutend sein: immer und immer wiederholen sich dieselben Eindrücke und dieselben Empfindungen und werden auf die gleiche Weise auf dem Weg der Reflexbewegung verbunden.

4. Logische Zergliederung der Wahrnehmungsprocesse.

Da die Wahrnehmungsprocesse unbewusster Natur sind und nur die Resultate derselben zum Bewusstsein zu gelangen pflegen, so ist es uns unmöglich, diese Processe in ihrer Entwicklung und in ihrem ganzen Umfang zu überschauen. Aus diesem Grunde sind die Wahrnehmungsvorgänge nicht unmittelbar der logischen Zergliederung zugänglich, sondern es ist hier ein vorbereitendes Geschäft nöthig, wir haben aus den Resultaten der Wahrnehmungsprocesse zunächst diese selber in ihrem Entstehen und ihrer Entwicklungsweise darzustellen und dann erst die logisch zergliedernde Hand an sie anzulegen. Jenes vorbereitende Geschäft ist theils in den frühern Untersuchungen, theils im vorigen Abschnitt beendigt worden, so dass wir jetzt sogleich dem logischen Theil der Aufgabe uns zuwenden können. Zuvor aber haben wir noch einen Einwand ins Auge zu fassen, der sich leicht gegen diese ganze Betrachtungsweise erheben könnte.

Im Allgemeinen sind die Naturerscheinungen überhaupt nur in ihren Resultaten unserer Beobachtung zugänglich. Allein unser bewusstes Denken macht eine Ausnahme hiervon, indem wir nicht blos die Resultate desselben auffassen, sondern auch das Entstehen dieser Resultate auf jedem Schritt zu verfolgen im Stande sind, und dieses Entstehen zeigt sich uns in der Form logischer Entwicklung. Niemand würde nun bei dem heutigen Stande der Wissenschaften darauf verfallen, dieses Entstehen aus einem logischen Gedankenprocess auch auf beliebige Phänomene der äusseren Natur, die nicht von Wesen ähnlicher Art wie wir selbst sind ausgehen, zu übertragen, derjenige würde lächerlich erscheinen, der z. B. die Erscheinungen der irdischen Schwere als die Resultate eines Gedankenprocesses betrachten wollte. Warum sind wir nun in Bezug auf jene unbewussten Vorgänge anderer Meinung, trotzdem uns auch bei ihnen nichts anderes als die Resultate bekannt

sind? Es sind zwei Gründe, auf die wir uns hierbei stützen, und die in der That die Ansicht, dass für das unbewusste Seelenleben dieselben logischen Gesetze wie für das bewusste Denken massgebend sind, zur Gewissheit erheben. Erstens bemerken wir bei genauer Untersuchung der Resultate der Wahrnehmungsvorgänge, dass dieselben sehr häufig in gegenseitiger Verbindung mit einander stehen, dass insbesondere innerhalb eines und desselben Sinnesgebietes die verwickelteren Wahrnehmungen aus einfacheren sich zusammensetzen. Diese Zusammensetzung, so verschieden sie in den einzelnen Fällen sein mag, hat doch immer das Uebereinstimmende, dass sie als das Resultat einer Reihe von Schlüssen, also eines logischen Processes sich betrachten lässt, während bis jetzt keine andere Hypothese aufgefunden wurde, welche in ähnlicher Weise den Erscheinungen zu genügen im Stande ist. Diese logische Ableitung der Wahrnehmungsvorgänge passt insbesondere auch für alle jene Fälle, wo die Wahrnehmung nicht der Wirklichkeit entspricht, d. h. für die grösste Zahl der so genannten Sinnestäuschungen. Diese lassen sich alle (ausgenommen die Sinnestäuschungen durch Anomalien der Sinnesorgane, die nicht hierher gehören) gleichfalls zurückführen auf logische Processe, aber auf fehlerhafte, auf Fehlschlüsse, und es lässt sich in den einzelnen Fällen der Grund der Irreleitung des Urtheils mit vollkommner Sicherheit darstellen. Es würde überflüssig sein, hier noch einzelne Beweise sowohl für die richtigen als für die falschen Wahrnehmungsschlüsse beizubringen, es sind solche Beweise in den vorausgegangenen Untersuchungen in genügender Zahl enthalten. — Es ist demnach die Voraussetzung der logischen Begründung der Wahrnehmungsvorgänge eine Hypothese, insofern diese logische Begründung selber nicht unserer unmittelbaren Beobachtung vorliegt, aber sie ist die einzige Hypothese, die für jede einzelne Wahrnehmung vollständig passend ist, und die zugleich auf alle Wahrnehmungsvorgänge passt, sie ist daher in nicht höherem Grad eine Hypothese als jede andere Annahme, die wir in Bezug auf den Grund von Naturerscheinungen machen, sie hat das wesentliche Erforderniss jeder fest begründeten Theorie, dass sie der einfachste und zugleich passendste Ausdruck ist, unter welchen die Thatsachen der Beobachtung sich subsumiren lassen. Aber im vorliegenden Fall geht die Theorie in Bezug auf einen wesentlichen Punkt über alle andern naturwissenschaftlichen Theorien an Sicherheit der Begründung hinaus: dies führt uns auf den *zweiten* Grund, der zu ihren Gunsten in die Schranken tritt.

Für unser bewusstes Denken ist die logische Form nicht eine Hypothese, sondern, wie schon bemerkt, eine Thatsache der Beobachtung. Wir sehen aber, dass sich zwischen Bewusstsein und Unbewusstsein eine scharfe Grenze niemals ziehen lässt. Mag auch vom wissenschaftlichen Standpunkte das Bewusstsein scharf definirbar sein, in der Wirklichkeit gehen stets beide Zustände ohne Grenze in einander über. Ein solcher continuirlicher Uebergang ist nur denkbar, wenn die beiden Zustände in ihrem Wesen mit einander übereinstimmen, wenn das Bewusstsein nur als die weitere Entwicklung eines und desselben Grundzustandes auftritt. Diese Betrachtungsweise passt nun vollständig zu der Annahme einer logischen Entwicklung des unbewussten Lebens. Das Bewusstwerden lässt sich, wenn es klar definirt werden soll, wie wir später zeigen werden, nur bestimmen als der Process, durch welchen das Subjekt von den Objekten sich unterscheidet. Dieser Process ist, wenn er nach der Analogie des bewussten Lebens erfolgt, wieder ein Schlussprocess. Man mag aber auch über das Wesen des Bewusstseins anderer Meinung sein, so zweifelt doch Niemand daran, dass das Bewusstsein zum Theil noch im Bewusstsein entsteht, d. h. nachdem die erste rohe Scheidung längst schon gemacht ist, wird diese Scheidung im weiteren Verlauf des Seelenlebens noch immer mehr geschärft und vervollkommnet. Diese sekundären Akte des Bewusstwerdens erfolgen nun alle auf dem Weg logischer Processe, weil sie eben schon Akte des bewussten Denkens sind. Es ist aber nicht der entfernteste Grund dazu anzunehmen, dass der erste Akt von den späteren in seiner Beschaffenheit durchaus verschieden gewesen sei. Vielmehr weist die Analogie der Akte des Bewusstwerdens unter sich wieder darauf hin, dass wir hier einen continuirlichen Process vor uns haben, dessen einzelne Glieder mit einander übereinstimmen. Ist aber der erste Akt des Bewusstwerdens, der noch ins unbewusste Leben fällt, schon ein Schlussprocess, so ist damit das Gesetz logischer Entwickelung auch für dieses unbewusste Leben nachgewiesen, es ist gezeigt, dass es nicht blos ein bewusstes, sondern auch ein unbewusstes Denken giebt.

Wir glauben hiermit vollständig dargelegt zu haben, dass die Annahme unbewusster logischer Processe nicht blos die Resultate der Wahrnehmungsvorgänge zu erklären im Stande ist, sondern dass dieselbe in der That auch die wirkliche Natur dieser Vorgänge richtig angiebt, obgleich die Vorgänge selber unserer unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglich sind.

Gehen wir nun auf die Zergliederung der logischen Processe, welche die Wahrnehmung bilden, ein, so zeigt sich uns alsbald zwischen den verschiedensten dieser Processe eine grosse Uebereinstimmung, und diese Uebereinstimmung liegt darin begründet, dass jeder einzelne Wahrnehmungsvorgang zwar ein Akt für sich, aber doch wieder nur der Theil eines umfassenderen Aktes ist. Steigen wir in dieser Weise von den einzelnen Vorgängen hinauf zu den grösseren Ganzen, mit denen sie zusammenhängen, und von diesen wieder zu den umfassenderen Complexen, so stellen sich uns zuletzt alle einzelnen Wahrnehmungsprocesse als Ausläufer eines einheitlichen Ganzen, als Glieder eines einzigen grossen Processes dar, der das Einzelne als seinen Bestandtheil in sich enthält. Ueberblicken wir diesen einheitlichen Wahrnehmungsvorgang, so stellt sich uns derselbe im Ganzen betrachtet als ein grosser induktorischer Process dar, dessen einzelne Ausläufer diese Form im Kleinen wiederholen.

Bei allen Induktionen gehen wir aus von einer grösseren Zahl einzelner Erkenntnisselemente und gelangen durch deren Zusammenfassung zu einem mehr oder weniger allgemeinen Gesetze, das jene einzelnen Elemente in sich enthält, so dass, wenn dieses Gesetz uns zuerst gegeben wäre, jene Elemente von selbst und unabhängig von der Erfahrung daraus abgeleitet werden könnten. Diese Ableitung, die in Wirklichkeit natürlich immer nur stattfindet, nachdem das Induktionsgeschäft bereits vorangegangen ist, geschieht durch die Deduktion. Wie die Induktion aus dem Einzelnen das Allgemeine, so erschliesst die Deduktion aus dem Allgemeinen das Einzelne. — Ich habe das Material, das der Induktion zu Grunde liegt, nur im Allgemeinen als Erkenntnisselemente bezeichnet, weil diese Bezeichnung allein für alle Fälle passend erscheint. Denn die Induktion kann mit sehr mannigfachem Material beginnen: bald sind es Erfahrungsthatsachen verschiedener Art, bald einfachere auf dem Weg früherer Induktionen gefundene Gesetze, mit denen sie operirt. Bei dem induktorischen Process der Wahrnehmung beginnen wir vollends mit den ursprünglichsten Erkenntnisselementen, die es giebt, mit den einfachen Sinnesempfindungen. Die Wahrnehmung verhält sich zu den Empfindungen, aus denen sie aufgebaut ist, ganz ebenso wie das durch die Induktion gefundene Gesetz zu den Erfahrungsthatsachen, die das Gesetz umschliesst. Wir könnten darum mit Recht jede einzelne Wahrnehmung ein Naturgesetz nennen, und die umfassendere Wahrnehmung als ein allgemeineres Naturgesetz betrachten. So

ist z. B. die einzelne räumliche Wahrnehmung das Gesetz, welches uns über einen bestimmten Zusammenhang von Empfindungen Rechenschaft giebt, und der Raum überhaupt ist das allgemeine Gesetz, das jede einzelne räumliche Wahrnehmung in sich enthält. Es ist uns nur deshalb ungewohnt, in diesem Falle von Naturgesetzen zu reden, weil eben der induktorische Process der Wahrnehmung unbewusst geschieht und wir daher die Wahrnehmung selber schon als das einfachste Erkenntnisselement anzusehen gewohnt sind.

Unsern Induktionen kommt bekanntlich ein sehr verschiedener Grad von Gewissheit zu. Dieser Umstand verführt eine nicht tief genug gehende Zergliederung leicht, neben dem Grad der Gewissheit, der durch die Zahl der dem Gesetz subsumirten Thatsachen gegeben wird, noch eine andere Gewissheit anzunehmen, die a priori und unabhängig von der Erfahrung, blos durch das logische Denken gegeben werde. Es ist hier nicht der Ort, auf die innere Unhaltbarkeit dieser Voraussetzung einzugehen, die aus der Form glaubt einen Inhalt erzeugen zu können. Es genügt darauf hinzuweisen, dass die verschiedene Gewissheit unserer Induktionen sich vollständig begreifen lässt aus der mehr oder minder grossen Zahl von Thatsachen, die der Induktion zu Grunde liegen, wenn man dabei zugleich in Betracht zieht, dass fast immer eine grosse Reihe von Induktionen zusammentrifft, die sich entweder gegenseitig verstärken oder sich schwächen. Man kann daher jede Induktion, wie dies geschehen ist, eine Verallgemeinerung aus der Erfahrung nennen, aber man muss dabei im Auge behalten, dass die Erfahrung hierbei sich nie blos auf die eine Reihe von Thatsachen bezieht, mit der sich die Induktion unmittelbar beschäftigt, sondern immer auf die ganze Summe von Thatsachen, die überhaupt in der Erfahrung vorhanden ist. Wenn daher von Kant die Induktion als derjenige Schluss bezeichnet wird, bei dem wir von vielen Dingen auf alle einer Art schliessen, so ist diese Definition zu eng, insofern sie eben nur die Dinge einer Art umfasst, während doch den Induktionen ihre Hauptstütze dadurch erst zukommt, dass sie über die Reihe von Thatsachen, in welchen sie unmittelbar sich bewegen, hinausgehen, dass sie Dinge anderer Art mit berücksichtigen. Nach jener gebräuchlichen Definition würde einer reinen Aufzählung übereinstimmender Thatsachen (der mera palpatio, wie sie Baco genannt hat) oft ein höherer Grad von Gewissheit zukommen, als dem induktorisch gefundenen Naturgesetz, das sich vielleicht nur auf eine geringe Zahl von Beobachtungen stützt, während uns

doch ein richtig leitendes Gefühl alsbald das Gegentheil sagt. Dieses Gefühl des grösseren Zutrauens entspringt eben aus der Uebereinstimmung mit einer bedeutenden Zahl anderer Induktionen, die wir bereits vollzogen haben, von welcher Uebereinstimmung wir uns freilich meistens keine genügend klare bewusste Rechenschaft zu geben im Stande sind. Aus diesem Grunde wohl ist jenes Eingreifen verschiedener Reihen von Induktionsprocessen in einander meistens bei der Zergliederung des Induktionsverfahrens nicht genügend berücksichtigt oder wenigstens nicht scharf hervorgehoben worden; selbst Mill, der sonst im Einzelnen in das Wesen des induktorischen Verfahrens sehr tief eindringt, hat diesen Punkt auffallend vernachlässigt.*) Aus diesem Wechselverhältniss erklärt sich z. B. die hohe Sicherheit, die wir einer unserer allgemeinsten Induktionen, dem Causalgesetz, zugestehen. Das Causalgesetz entsteht eben aus dem Zusammenwirken aller, auch der verschiedensten Induktionen, die wir machen, und es giebt kaum eine Reihe genauer zergliederter Thatsachen, die nicht unter jenes allgemeinste Gesetz der Ursache und Wirkung sich subsumiren liesse.

Auch für die Wahrnehmungsprocesse ist das Eingreifen verschiedener Induktionen in einander von der höchsten Wichtigkeit. Eine einzelne oder eine kleine Zahl von Induktionen würde hier gar nicht möglich sein. Nur dadurch, dass die in gleicher Weise unzählige Mal sich wiederholenden Wahrnehmungen von andern Wahrnehmungen gestützt werden, erhalten die Resultate unseres Wahrnehmungsprocesses jene Sicherheit, ohne die derselbe keine Bedeutung hätte. So stützt sich jede einzelne räumliche Wahrnehmung auf alle gleichzeitigen und vorangegangenen räumlichen Wahrnehmungen, und die Raumanschauung überhaupt stützt sich wieder auf einfachere unräumliche Sinneswahrnehmungen. In dieser Beziehung ist der allgemeine Wahrnehmungsprocess den Induktionen der bindendsten Art an die Seite zu setzen: so lange auch dieser Process dauert und so oft er sich wiederholt, nicht eine einzige widersprechende Thatsache erhebt sich, alles passt in das einmal gefundene Gesetz und erhebt so dieses zu jener unangreifbaren Sicherheit, wie sie für das Fundament unseres ganzen Seelenlebens nothwendig ist.

Die allgemeine Bezeichnung des Wahrnehmungsprocesses als eines induktorischen ist zu unbestimmt, um den ganzen

*) J. St. Mill, System of logic ratiocinative and inductive. Lond. 1843. Deutsche Uebersetzung von Dr. J. Schiel. Braunschweig, 1849.

Verlauf desselben vollständig übersehen lassen zu können. Wir wenden uns daher jetzt zur genaueren logischen Zergliederung der einzelnen Wahrnehmungsakte.

Der erste Akt der Wahrnehmung besteht in der innigen Verknüpfung verschiedener Empfindungsreihen. Die Empfindung A ist von der Empfindung B so häufig und unabänderlich begleitet worden, dass wo einmal A für sich stattfindet, sie das Bild von B nothwendig wachruft. Wir wollen diese Verknüpfung verschiedener Empfindungsreihen, die auch über die Zahl Zwei sich hinauserstrecken kann, als Colligation der Empfindungen bezeichnen. Die Colligation verknüpft verschiedene Empfindungen bloss wegen der ungeheuern Häufigkeit, mit der sie in Wirklichkeit kombinirt sind, und es besteht ausser dieser äusserlichen Veranlassung kein innerer Grund, kein etwa in den Empfindungen selber gelegenes Moment, was jene Verknüpfung veranlasst. Die Colligation gehört daher zu den einfachsten Induktionsprozessen, zu jenen Induktionen, die blos durch die grosse Zahl entsprechender Thatsachen entstehen (inductiones per enumerationem simplicem nach Baco), derartige Induktionen bilden überall die Grundlage unserer Erkenntniss, und fast immer haben sie, wie bei der Wahrnehmung, die Form der Colligation*). Die Verbindung der Empfindungen ist nicht die einzige, sondern nur die erste Colligation unseres Erkenntnisprozesses. — Die Colligation ist noch lange keine Wahrnehmung: in ihr stehen die mit einander verknüpften Empfindungsreihen noch vollkommen unvermittelt neben einander, sie bildet dadurch erst die Vorbereitung zur eigentlichen Wahrnehmung. Die Colligation der Empfindungen stützt sich auf den physischen Mechanismus der Reflexe. Die korrespondirenden Empfindungen, die mit einander verknüpft werden, sind zunächst objektive Sinnesempfindungen einerseits und Muskelempfindungen andererseits. Die gesetzmässige Verknüpfung der Reflexe mit den Sinnesreizen bedingt die entsprechende Verknüpfung jener beiden Empfindungsreihen.

*) Daher kann das Wort Colligation nicht blos in Bezug auf die Verknüpfung von Empfindungen, sondern überhaupt in Bezug auf die Verknüpfung beliebiger Erkenntnisselemente gebraucht werden, und so ist es in der That von Whewell, der diese Bezeichnung eingeführt hat, für die Verbindung von Beobachtungsthatsachen angewandt worden. Whewell hat aber seiner colligation of facts eine Ausdehnung gegeben, die weit über das Gebiet der eigentlichen Colligation hinausgeht, indem er fast das ganze Induktionsverfahren in die Colligation hereinzieht. (Whewell, Philosophy of the inductive sciences, vol. II, p. 36. New edit. London, 1847.)

Der zweite Akt der Wahrnehmung besteht in der Verschmelzung der durch die Colligation gegebenen Verbindungen zu einem einheitlichen Ganzen. Es lässt sich dieser Akt, dem Sprachgebrauche der Logik gemäss, als eine Synthese bezeichnen; auch das deutsche Wort der Verschmelzung charakterisirt ihn der Colligation als einer blossen Verbindung oder Verknüpfung gegenüber. Die durch die Colligation gelieferte Verbindung ist eine rein äusserliche, bei der die verknüpften Empfindungen als Einzelempfindungen erhalten bleiben. Aber indem die Synthese diese durch den Vorbereitungsprozess der Colligation innig verknüpften Empfindungen zur Verschmelzung bringt, erzeugt sie ein Drittes, was in den Einzelempfindungen als solchen noch nicht enthalten war. Die Synthese ist daher das eigentlich Konstruktive bei der Wahrnehmung, sie bringt erst aus den ursprünglich beziehungslos dastehenden Empfindungen etwas Neues hervor, das zwar die Empfindungen in sich enthält, aber doch etwas ganz von den Empfindungen Verschiedenes ist. — Die Synthese kann sich nicht unmittelbar aus der Colligation entwickeln, die durch diese gegebenen Verbindungen können erst durch einen Anstoss, der ausser ihnen gelegen ist, zur wahren Verschmelzung kommen. Die Synthese wird immer durch etwas Neues in Bewegung gesetzt, was in den kolligirten Empfindungen nicht enthalten ist; dieses neu hinzutretende Moment, welches das Produkt der Synthese, die Wahrnehmung, erst möglich macht, hängt immer von dem einzelnen Fall ab, um den es sich handelt. Es ist im Vergleich mit der festen Verknüpfung der kolligirten Empfindungen stets ein mehr zufälliger Anstoss, dessen Beschaffenheit und Eintritt meistens veränderlich ist.

Wir wollen beispielsweise eine räumliche Gesichtswahrnehmung zergliedern. Es seien zwei leuchtende Punkte in bestimmter Entfernung gegeben, sie erregen zwei distinkte Netzhautempfindungen, die mit einer bestimmten Muskelempfindung, welche der Entfernung der leuchtenden Punkte entspricht, kombinirt werden. Aendert sich die Lage der Bilder auf der Netzhaut, so ändert sich damit entsprechend die Muskelempfindung: es bildet sich so auf die früher näher erörterte Weise eine innige Verknüpfung aus zwischen ganzen Reihen von Netzhaut- und Muskelempfindungen. Die Verknüpfung, welche die Empfindungen noch unvermittelt enthält, ist die Colligation. Nun aber tritt ein zufälliges äusseres Ereigniss hinzu: die zwei leuchtenden Punkte ändern, während sie von der Netzhaut aufgefasst werden, ihre objektive Lage bei ruhendem Auge. Dem entspricht eine Aenderung der Netz-

hautempfindungen, ohne dass dies Mal mit dieser sich eine Muskelempfindung verbindet. Auf diese Weise werden die zwei distinkten Netzhautempfindungen für sich aufgefasst und doch zugleich mit der ihnen korrespondirenden Muskelempfindung verglichen, der durch die Colligation hergestellte Zusammenhang mit den Muskelempfindungen wird gelösst, indem die durch die Lageverschiedenheit der Bildpunkte bedingte Differenz der Netzhautempfindungen für sich aufgefasst wird, und doch wird zugleich die Lageverschiedenheit durch die Grade der korrespondirenden Muskelempfindungen gemessen. Hier beginnt die Wirksamkeit der Synthese. Indem sie die Netzhautempfindungen isolirt, aber zugleich mit dem von dem Muskelsinn entlehnten Maasse misst, bildet sie die Wahrnehmung zu der Form aus, zu der in den Empfindungseindrücken der drängende Impuls gelegen ist, zu der räumlichen Form. So ist die Synthese in der Wahrnehmung eine schöpferische Thätigkeit, indem sie den Raum konstruirt, aber diese schöpferische Thätigkeit ist keineswegs eine freie, sondern die Empfindungseindrücke und die bei der Synthese mitwirkenden äusseren Anstösse zwingen mit Nothwendigkeit, dass der Raum in voller Treue r e konstruirt werde. Die räumliche Form ist die einzige, die aus der logischen Verarbeitung der gegebenen Erkenntnisselemente hervorgehen kann, und die räumliche Form ist daher das nothwendige Produkt dieser Verarbeitung.

Als dritter logischer Akt des Wahrnehmungsprozesses ist die Analogie zu bezeichnen. Sie ist der unwesentlichste Akt, denn erstere Wahrnehmungen müssen bereits durch die Synthese konstruirt sein, bevor der Analogieschluss wirksam sich anreihen kann. Die Analogie für sich würde keine Wahrnehmung zu Stande bringen können, weil sie sich immer den schon vorhandenen Erfahrungen anschliesst und daher nur den Inhalt eines schon gebildeten Schemas zu vervollständigen, nie aber etwas Neues zu erzeugen vermag. Dagegen ist die Analogie ein in hohem Grade unterstützendes Moment, sobald einmal die ersten Wahrnehmungen gebildet sind, sobald einmal eine Summe von Erfahrungen vorhanden ist, von der sich ausgehen lässt. Die Analogie schliesst aus der einen Wahrnehmung auf die andere, sie schliesst, wenn in einem zweiten Fall einige Bedingungen einem ersten Fall analog gefunden werden, auf die analoge Beschaffenheit aller Bedingungen. Durch die Analogie wird es daher erst möglich, dass nicht bei jeder einzelnen Wahrnehmung die ganze Reihe von Prozessen sich zu wiederholen braucht, welche die ersten Wahr-

nehmungen zu Stande brachte, sondern dass nur einzelne Elemente derselben gegeben sein müssen. So ist es z. B. eine durch Synthese aus den Netzhautempfindungen und Bewegungsempfindungen, vielleicht unter Mitwirkung des Tastsinnes, erzeugte Wahrnehmung, dass die Eindrücke, die auf die obere Hälfte der Netzhaut einwirken, von Objekten herrühren, welche im äussern Raum nach unten gelegen sind, umgekehrt die Eindrücke, die auf die untere Hälfte der Netzhaut einwirken, von Objekten, welche im äussern Raum nach oben gelegen sind. Nun braucht sich aber die ganze Reihe von Vorgängen, die zur ersten Synthese nothwendig war, nicht mehr bei jeder folgenden Wahrnehmung zu wiederholen, sondern, sobald überhaupt auf die Netzhaut ein Eindruck stattfindet, werden alle übrigen Momente aus der vorangegangenen Synthese ergänzt, und es wird unmittelbar, blos nach den Netzhautempfindungen, den Objekten ihre Stelle im äussern Raum angewiesen. — In ähnlicher Weise greift die Analogie in alle Wahrnehmungen herein, sie bedingt so im Allgemeinen, dass die einfachen Sinnesempfindungen, ohne Beihülfe der ursprünglich mit ihnen verknüpften fremden Empfindungsreihen, zur Vollendung der Einzelwahrnehmungen genügen. Hierin liegt der Grund, warum wir so leicht geneigt sind, die bei der ursprünglichen Synthese wirksamen sekundären Momente ganz zu übersehen, und die Empfindungen sogleich mit den Wahrnehmungen zu identifiziren. Im ausgebildeten Menschen entstehen allerdings die Wahrnehmungen meistens unmittelbar aus den Empfindungen, aber nur vermöge der Analogie, die uns früher vorhanden gewesene und benützte Erkenntnisselemente fortan in Rechnung zu ziehen gestattet. Man sieht leicht ein, wie wichtig demgemäss, trotz ihrer untergeordneten Bedeutung beim ersten Aufbau der Wahrnehmungen, die Analogie für den Wahrnehmungsprozess überhaupt ist. Ohne sie würde das ganze Wahrnehmungsgeschäft ein so äusserst schwerfälliges sein, dass es wohl zu bezweifeln gestattet ist, ob, wenn ihre unterstützende Thätigkeit fehlte, jemals unsere Wahrnehmungen zu der Ausbildung gelangen könnten, die sie in Wirklichkeit erreichen.

5. Empfindung, Wahrnehmung, Vorstellung.

Empfindung, Wahrnehmung und Vorstellung werden häufig nicht mit genügender wissenschaftlicher Schärfe von einander unterschieden. Früher pflegte man alle drei Akte zu konfundiren, und noch jetzt werden die Ausdrücke Wahrnehmung

und Vorstellung häufig in gleichem Sinne gebraucht. Aber wenn auch zuzugeben ist, dass in der Wirklichkeit Wahrnehmung und Vorstellung fast ohne Grenze in einander übergehen, so ist damit doch noch nicht gesagt, dass nicht wissenschaftlich beide scharf von einander geschieden werden können.

Wir haben die Empfindung definirt als den ersten Seelenakt, der durch unmittelbare Umsetzung des physischen Nervenprozesses auf noch unbekannte Weise entsteht, und der als der elementarste Vorgang psychischer Art sich nicht näher zergliedern lässt. Wir haben dann ausführlicher gezeigt, wie aus der Empfindung sich die Wahrnehmung hervorbildet auf dem Wege logischer Prozesse, die sich in der Unbewusstheit vollziehen. Wir können jetzt weiterhin die Vorstellung kurz als die Erhebung der Wahrnehmung ins Bewusstsein bezeichnen. Man sieht hieraus sogleich, dass es bei der Abgrenzung von Wahrnehmung und Vorstellung vor Allem auf eine nähere Bestimmung des Bewusstseins ankommt.

Es ist kaum möglich, das bewusste Seelenleben von der Unbewusstheit in allen Fällen mit Sicherheit zu unterscheiden, Der Grund für diese schwere Abgrenzung des Bewussten vom Unbewussten liegt in der sehr verschiedenen Klarheit, die dem Inhalt des Bewusstseins zukommen kann. Wir haben an unsern Vorstellungen die mannigfachsten Abstufungen der Klarheit, und erst wo diese Klarheit sehr gross geworden ist, unterscheiden wir zugleich unsere Vorstellungen mit Deutlichkeit als bewusste; von Allem aber was im Bewusstsein mit minderer Klarheit geschieht, sind wir unsicher, ob es wirklich bewusst ist, weil wir ebenso gut völlig unbewusste wie bewusste aber unklare Vorstellungen in die Klarheit des Bewusstseins zu rufen vermögen. Man hat aus diesem Grunde vielfach den Gegensatz des bewussten und unbewussten Seelenlebens überhaupt vollkommen geleugnet, man hat gesucht den Unterschied der sinnlichen Empfindung und der bewussten Vorstellung völlig zu verwischen, indem man ihn als einen gradweisen darstellte. Diese Konfundirung der sinnlichen und und bewussten Seelenakte ist ebenso von materialistischer wie von idealistischer Seite aus geschehen. Den materialistischen Schulen war das Bewusstsein nur eine potenzirte Empfindung, und den Idealisten galt die Empfindung als der erste und einfachste Akt des Bewusstseins; beiden aber war das Bewusstsein ein von vornherein Gegebenes, was gar keine Entwicklung seelischer Prozesse voraussetzte, es war gewissermaassen die Form, unter der ihnen alles seelische Geschehen

von seinen ersten Anfängen an bis zu den höchsten Stufen der Ausbildung sich darstellte. Eine solche Ansicht steht im Widerspruch mit der Erfahrung, welche nachweist, dass das Bewusstsein noch eine Menge niederer seelischer Prozesse voraussetzt, aus denen es sich erst allmälig hervorzubilden vermag. Diese niederen seelischen Prozesse, aus denen das Bewusstsein entsteht, sind die Empfindung und Wahrnehmung.

Das Bewusstsein besteht darin, dass wir unser Ich zu trennen vermögen von der Aussenwelt, und dass wir jedem Objekt die Stelle anweisen, die es in Bezug auf unser Ich einnimmt. Dies ist die einzige klare und durchführbare Definition, die wir zu geben im Stande sind. Es ist aber in dieser Definition schon gelegen, dass das Bewusstsein nach zwei Richtungen hin sich theilt, in das subjektive Bewusstsein, welches das Ich trennt von den Objekten, und in das objektive Bewusstsein, welches jedem Objekt seine Stelle anweist. Mit der ersten Dämmerung des Bewusstseins sind auch diese zwei Theilungen desselben mit Nothwendigkeit gegeben, und es ist durchaus unlogisch, wenn man annimmt, dass beide erst von einer gemeinsamen Einheit, einem allgemeineren oder Weltbewusstsein, aus sich spalten. Ein solches Weltbewusstsein giebt es nicht, da der Begriff des Bewusstseins bereits die Trennung eines objektiven und subjektiven Momentes voraussetzt.

Das subjektive oder Selbstbewusstsein beruht darauf, dass wir vermöge unserer Organisation uns selber zu trennen vermögen von der uns umgebenden Aussenwelt. Der letzte Grund dieser Trennung ist gelegen in unserer Bewegungsfähigkeit. Indem wir an den Objekten uns hinbewegen, beginnen wir uns mit der Gesammtheit unseres Leibes als das Bewegte den ruhenden Objekten gegenüberzusetzen. Jenes unser Ich, mit Allem was dazu gehört, ist das unter dem Wechsel der Eindrücke konstant Bleibende, überall wo wir empfinden und wahrnehmen ist unser Leib, während das Empfundene und Wahrgenommene selber wechselt, indem wir uns bewegen. So unterscheiden wir unser Ich, das wir, weil wir es innig daran gebunden sehen, mit unserer ganzen leiblichen Organisation identisch setzen, als ein Bewegliches von der in Ruhe verharrenden Aussenwelt. Indem wir aber weiter sehen, dass ganze Theile von unserm leiblichen Organismus getrennt werden können, ohne dass deshalb jene Trennung des Subjektes von der Aussenwelt aufhört, lernen wir auch mehr und mehr die Vorstellung unseres Ich von dem Ganzen auf einzelne wesentliche Theile beschränken, und

es liegt nahe, dass wir, bei dieser Erkenntniss, dass ganze Theile für unser Ich unwesentlich sind, überhaupt allmälig die Vorstellung des Ich von der leiblichen Organisation frei machen und es auf ein rein innerliches Leben des Geistes beziehen. Diese Ansicht ist aber unrichtig, wenn wir damit die vollständige Unabhängigkeit des Selbstbewusstseins von der leiblichen Organisation aussprechen wollen: es sind allerdings die verschiedenen Theile der letzteren für das Selbstbewusstsein von verschiedenem Werthe, absolut werthlos ist aber kaum eines, denn jedes unserer bewegungsfähigen Glieder, jede unserer empfindenden Körperstellen spielt bei seiner Entwicklung eine Rolle, wir sehen die Bildung des Selbstbewusstseins nothwendig gebunden an die Prozesse der Wahrnehmung und an unsere eigene Bewegung, diese Vorgänge sind aber unmittelbar geknüpft an unsere leibliche Organisation. Wenn wir so für die Entwicklung des Selbstbewusstseins jedem unserer Körpertheile einen gewissen Werth zugestehen müssen, so sehen wir selbst für den Fortbestand desselben die Integrität einer gewissen Summe von Organen als nothwendige Bedingung gegeben. Jene Ansicht, welche die gesammte Körperlichkeit als werthlos für das Selbstbewusstsein ansieht, hat daher in der Erfahrung keine Stütze, sie ist eine Induktion, die über die Thatsachen der Erfahrung hinaus verallgemeinert, und die daher falsch ist.

Das objektive Bewusstsein fasst die Aussenwelt auf in der Gliederung ihrer einzelnen Objekte und in der Beziehung dieser Objekte zum Ich. Das objektive Bewusstsein entwickelt sich daher mit und an dem Selbstbewusstsein. Indem wir die Theile unseres eigenen Leibes gegen einander bewegen, lernen wir dieselben in ihrer Gliederung auffassen. Indem wir uns an den Objekten hinbewegen, lernen wir die einzelnen Gegenstände von einander trennen, wir umgrenzen durch die Wahrnehmung die einzelnen Objekte und scheiden sie so als Ganze ab von ihrer Umgebung. Nachdem wir auf diese Weise ein Ganzes herausgenommen haben, zerlegen wir dasselbe immer weiter in seine einzelnen Theile. — Dieser Gang der Vorstellungsthätigkeit vom Allgemeinen auf das Einzelne lässt sich leicht an dem sich entwickelnden und selbst noch am ausgebildeten Menschen verfolgen. Unsere primitiven Vorstellungen sind immer äussert rohe Schemata der Gegenstände, erst allmälig lernt der Sinn in das Einzelne eindringen und vervollständigt dadurch die Vorstellung. Das Kind unterscheidet anfänglich nur die dürftigen Umrisse der Gegenstände, erst allmälig fasst es auch die feineren Konturen anf, und erst

ziemlich spät lernt es auf die Farben achten. Ja unsere eigenen Vorstellungen über viele Dinge sind noch äusserst unvollkommen, weil wir uns mit dem einmal vorhandenen Schema begnügen: manchen Menschen sieht ein Baum wie der andere aus, und der Botaniker erkennt auf den ersten Blick Unterschiede, die auch dem sonst geübten Auge gänzlich entgehen.

Untersuchen wir die Vorgänge, aus deren Ablauf allmälig die Bildung des Bewusstseins hervorgeht, so sehen wir dieselben logischen Prozesse gegeben, die der Bildung der Wahrnehmung zum Grunde liegen. Die Prozesse, die zur Bildung des subjektiven und objektiven Bewusstseins führen, ergaben sich als die analogen Schlussprozesse. Da aber erst aus dem Endresultat dieser Schlüsse sich das Bewusstsein ergiebt, so können dieselben ebenfalls keine bewussten Schlüsse sein, sie müssen, ebenso wie der Wahrnehmungsprozess, noch in der unbewussten Seele vor sich gehen. Da aber die Bewusstseinsbildung erst ins bewusste Leben übersetzt die Form des Schlusses annimmt, so ist sie von einer Wahrnehmung nicht verschieden; sie ist der letzte und höchste Wahrnehmungsakt, der die Scheidegrenze bildet zwischen dem unbewussten Wahrnehmungsleben und dem bewussten Vorstellungsleben.

Nachdem einmal die Anfänge des Bewusstseins sich gebildet haben, kann jeder der im Umbewussten sich vollziehenden sinnlichen Seelenakte ins Bewusstsein gelangen: Empfindungen und Wahrnehmungen können bewusst werden. Aber damit, dass sie bewusst werden, werden sie auch alsbald, dem Wesen des Bewusstseins entsprechend, bezogen entweder auf einen Zustand unseres Selbst oder auf die Beschaffenheit eines Objektes, und damit erheben sie sich sogleich zur Vorstellung. Auf diese Weise bildet sich die Vorstellung heraus aus der Sinneswahrnehmung, sie ist nichts weiser als eine bewusste Wahrnehmung, als solche aber kann sie sich nicht mehr wie die unbewusste Wahrnehmung darauf beschränken, die Einzeleindrücke in ihrem gegenseitigen Verhältnisse aufzufassen, sondern sie stellt alsbald erstens vermöge des Selbstbewusstseins das Verhältniss derselben zu dem Ich fest und fasst zweitens durch das objektive Bewusstsein die Einzelwahrnehmungen getrennt von einander auf. Indem die Trennung des subjektiven und objektiven Bewusstseins geschieht, scheiden wir zugleich die Wahrnehmungen, die unsern eigenen Leib betreffen, von den Wahnehmungen äusserer Gegenstände und gelangen dadurch zu der Vorstellung unseres Ich gegenüber der Vorstellung einer Aussenwelt. Beide Vorstellungen

werden dann in Folge vielfach wiederholter und verschiedener Wahrnehmungen ins Einzelne zergliedert, und so bildet sich allmälig erst der Reichthum von Einzelvorstellungen aus, den wir in unserm ausgebildeten Bewusstsein vorräthig finden.

Wir glauben in der obigen Definition und ihrer nähern Begründung eine hinreichend scharfe Scheidung des Begriffs der Wahrnehmung und der Vorstellung gegeben zu haben. Sobald man zugiebt, dass Unbewusstheit und Bewusstsein von einander zu trennen sind, so giebt man damit auch zu, dass es eine eben solche Grenze zwischen Wahrnehmung und Vorstellung giebt, und es muss dann die Bestimmung beider die Form annehmen, die wir oben in den allgemeinsten Umrissen gezeichnet haben. Aber es ergiebt sich aus unsern Betrachtungen noch eine weitere Folgerung, die für das Studium des gesammten Seelenlebens von der höchsten Bedeutung ist, und auf die wir nur mit einem kurzen Wort noch hinweisen können.

Die experimentelle Untersuchung der Sinneswahrnehmung und Vorstellung ergiebt ein Resultat, das unmittelbar auch auf die höheren Sphären der Geistesthätigkeit sich anwenden lässt. So vielfältig und verschieden die Erscheinungen sind, durch welche das Seelenleben des Menschen sich äussert, so ist es doch eine grosse und konstante Gesetzmässigkeit, welche diese mannigfaltigen Aeusserungen, von der einfachen Empfindung an bis zu der Bildung der abstrakten und ethischen Begriffe verbindet. Wie wir den physischen Organismus trotz der unendlichen Vielheit seiner Erscheinungen als ein einheitliches Ganze auffassen müssen, das in der Geschichte der Zellenentwicklung seinen Ausdruck findet, so tritt uns die ganze Summe der Seelenäusserungen als nichts weiter entgegen, denn als eine fortgesetzte einfachere oder verwickeltere Anwendung einer kleinen Zahl von Grundgesetzen, die unveränderlich an einander gekettet sind, so dass das Eine mit dem Anderen nothwendig gegeben ist. Diese elementaren Gesetze, die dem ganzen Seelenleben als Basis dienen, sind die Grundgesetze der Logik. Sie gestalten, in der Unbewusstheit sich vollziehend, aus in gesetzmässiger Folge auftretenden Empfindungen die Wahrnehmung, sie entwickeln aus einer Reihe von Wahrnehmungen das Bewusstsein, sie beherrschen die Welt der Vorstellungen, sie bilden aus den Vorstellungen Begriffe und bauen endlich aus Begriffen Gedanken und Systeme auf.

Die Nachweisung der fortgesetzten Anwendung der logischen Gesetze im Verlaufe des Seelenlebens wird die Aufgabe

einer künftigen Psychologie sein. Mit dieser Nachweisung wird erst eine Einheit für die psychologischen Untersuchungen gewonnen sein, welche dieselben bisher nicht besessen haben. Wie für das körperliche Leben die Zelle mit ihren Grundfunktionen die Einheit ist, von welcher die Betrachtung auszugehen hat, so ist diese Einheit für die Betrachtung des Seelenlebens in den Gesetzen der logischen Entwicklung längst schon gefunden, aber noch niemals mit Consequenz angewandt. Die Psychologie wird vorerst von allen metaphysischen Hypothesen über das Wesen der Seele abzusehen haben, die weder beweisbar sind, noch jemals die Untersuchung wirklich gefördert haben, die Psychologie ist in der glücklichen Lage, nicht eine Hypothese, sondern eine Erfahrungsthatsache an die Spitze ihrer Untersuchungen stellen zu können, und diese Erfahrungsthatsache ist *die Seele als ein aus sich selber heraus nach logischen Gesetzen handelndes und sich entwickelndes Wesen.*

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig.

Gedruckt bei E. Polz in Leipzig

H. C. FÖRSTER
vormals Schinner
bgl. Buchbinder
Galanterie u. Etuisarbeiter
Landschafts Gasse No. 3-2.
in München.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Wundt, Wilhelm,

Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung

Leipzig [u.a.] 1862

Anat. 474 qd
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10369804-8